

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

**HANNES BJÖRNINEN**  
**MALLINNUKSEN HYÖDYNTÄMINEN HULEVESIEN HALLINNAN**  
**SUUNNITTELUSSA**

Diplomityö

Tarkastajat: professori Tuula Tuhkanen  
dipl.ins. Perttu Hyöty

Tarkastajat ja aihe hyväksytty  
Rakennetun ympäristön tiedekuntaneuvoston  
kokouksessa 5. toukokuuta 2010

## TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Rakennustekniikan koulutusohjelma

**BJÖRNINEN, HANNES**

Mallinnuksen hyödyntäminen hulevesien hallinnan suunnittelussa

Diplomityö, 113 sivua, 2 liitesivua

Kesäkuu 2010

Pääaine: Vesi- ja ympäristötekniikka

Tarkastajat: professori Tuula Tuhkanen, dipl.ins. Perttu Hyöty

Avainsanat: taajamahydrologia, hulevesi, mallinnus

Kaupungistumisen on todettu muuttavan merkittävästi taajama-alueiden valuntaprosessia, mikä on johtanut hulevesimäärien hälyttävään kasvuun. Tämä on lisännyt rankkasadetulvien riskiä ja heikentänyt taajamien pienvesistöjen tilaa. Ennustetun ilmastonmuutoksen vaikutuksesta Suomessa sademäärien on ennustettu kasvavan ja rankkasadetapahtumien ääristyvän, mikä lisää hulevesien aiheuttamia ongelmia ja korostaa niiden hallinnan tärkeyttä.

Hulevesien hallintaan on kehitetty eritasoisia menetelmiä, joiden suunnittelussa tietokoneavusteinen hulevesimallinnus on tärkeä työkalu. Mallinnuksen teoreettista taustaa on tutkittu viime vuosina kasvavassa määrin, mutta tiedon soveltamisesta käytännön suunnittelutyöhön ei ole tehty yhteenvetoa. Tämän työn tavoitteena on olla käytännöllinen tietolähde hulevesisuunnittelun ja mallintamisen pohjaksi.

Työn teoriaosassa on koottu yhteen hulevesien hallinnan suunnittelun ja mallinnuksen kannalta keskeiset taustatiedot ja näkökulmat. Teoriaosa perustuu suurelta osin 2000-luvulla Suomessa laadittuihin tärkeimpiin hulevesialan julkaisuihin kuten RYVE-projektin ja RATU-hankeen raportteihin. Lisäksi on tehty yhteenvetoa hulevesien hallinnan suunnitteluoppaissa esitetyistä näkökulmista sekä perehdytty uusimpiin Suomen sadantailmastoa ja rankkasateita käsitteleviin julkaisuihin.

Työn soveltavassa osassa päivitettiin Tampereen Vuoreksen hulevesien hallinnan yleissuunnitelma sekä laadittiin sen perusteella laaja SWMM-hulevesimallinnus. Työn tarkoituksena oli koota yhteen aikaisemmin Vuorekseen laaditut useat hulevesien hallintasuunnitelmat ja tutkia laajan hulevesien hallintajärjestelmän toimintaa kokonaisuutena vaihtelevissa olosuhteissa. Työn keskeisenä näkökulmana oli laatia havainnollinen ja tuloksiltaan riittävän laadukas hulevesimallinnus suunnittelutyötä rajoittavien resurssien puitteissa.

Hulevesimallinnuksella pyritään kuvaamaan monimutkaisia luonnon prosesseja yksinkertaistettuina. Tästä johtuen mallinnuksessa käytettävät menetelmät ja lähtöarvot sisältävät suuria epävarmuuksia, joten myös mallintamalla saadut tulokset ovat luonteeltaan suuntaa antavia. Näin ollen mallinnuksen tärkein tehtävä on antaa kuva valuma-alueiden ja hulevesien hallintamenetelmien käyttäytymisestä erikoistilanteissa sekä auttaa tarkastelemaan järjestelmien toimimista kokonaisuutena.

Mallinnusmenetelmien puutteista ja epävarmuuksista huolimatta työn perusteella todettiin, että mallinnus on monipuolisuutensa ja joustavuutensa johdosta korvaamaton työkalu hulevesien hallinnan suunnittelussa. Tekemällä järkeviä yksinkertaistuksia on mahdollista mallintaa hyvinkin monimutkaisia järjestelmiä. Mallinnuksen avulla voitiin tarkastella myös Vuoreksen hulevesijärjestelmien toimintaa kattavasti ja löytää toimivia ratkaisuja havaittujen ongelmakohtien parantamiseksi.



## ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Civil Engineering

**BJÖRNINEN, HANNES**

Practical use of modelling in storm water management plans

Master of Science Thesis, 113 pages, 2 Appendix pages

June 2010

Major: Water and environmental engineering

Examiners: Tuula Tuhkanen, professor; Perttu Hyöty, M.Sc (Tech)

Keywords: urban hydrology, storm water, modelling

Urbanization has significantly changed the hydrologic cycle in urban areas. This has led to a dramatic increase in storm water runoff which has made urban floods more frequent and has degraded local water basins. As an effect of climate change the extreme rainfalls in Finland are predicted to get more intense and frequent. Problems related to the runoff will therefore become more pressing, which means there is a need for adequate storm water management.

Increasingly popular implementation of storm water management practices has favoured the use of modelling software. Although the theoretical background of storm water modelling has recently been studied in Finland, a practical guide for the modelling of storm water management systems is yet to be made. This work attempts to summarize the practical side of modelling and storm water planning.

This work consists of two separate parts. The first part outlines the theoretical background of urban hydrology, storm water management and modelling. The main sources have been important nationwide projects such as *Urban waters and stormwater management practices in Finland (RYVE)* and *Heavy rains and floods in urban areas (RATU)*. In addition, various storm water management guides have been studied and the latest Finnish rainfall data analyses have been reviewed.

The second part of the work consists of an update of a large suburban storm water management plan in Vuores, Tampere, which is studied with a high-resolution SWMM-model in various conditions. The focus of the work has been on how to achieve sufficiently accurate modelling results with the limited resources of planning work.

Urban hydrology is characterized by complex natural processes which cannot be modelled precisely. Therefore computer models carry big uncertainties within the methods used and the results achieved. This emphasizes the fact that the purpose of modelling is not to get exact numerical results, but instead to help analyze the behavior of a storm water management system as a whole in multiple different scenarios. In addition the flexibility and versatility of the models makes them highly useful tools for planning purposes. By applying certain simplifications to the theoretical methods in use, even complex storm water management systems can be modelled extensively, as seen in the second part of the work concerning the case Vuores.

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) rakennustekniikan laitokselle. Työn tarkastajana on toiminut professori Tuula Tuhkanen nykyiseltä kemian- ja biotekniikan laitokselta, jonne pääaineeni vesi- ja ympäristötekniikka on sijoittunut. Työn asiasisällön tarkastamisesta ja ohjauksesta on vastannut DI Perttu Hyöty FCG Finnish Consulting Group Oy:stä (FCG). Työ onkin laadittu puhtaasti FCG:n lähtökohdista ja siihen on sisältynyt myös FCG:n oma hulevesimallinnuksen kehitysprojekti.

Diplomityö on selvästi kaksiosainen. Työn teoriaosuuden muodostaa kirjallisuuskatsaus hulevesien hallinnan suunnitteluun ja hulevesimallinnukseen, jonka olen laatinut omalla ajallani. Työn soveltava osa, *Vuoreksen hulevesien hallinnan yleissuunnitelman päivitys ja hulevesimallinnus*, on tehty konsulttitoimeksiantona FCG:ssä Tampereen kaupungin tilauksesta. Soveltava osa on diplomityön erillinen osa ja noudattaa muotoilultaan konsultin raporttimallia.

Erityisesti haluan kiittää DI Perttu Hyötyä niin tämän työn ohjauksesta kuin aikaisemmista yhteisistä projekteistamme. Ne ovat kasvattaneet innostustani hulevesikysymyksiin ja luoneet tukevan pohjan niin diplomityölleni kuin tulevalle työuralleni. Kiitos myös muille työtovereilleni FCG:ssä loistavasta työilmapiiristä.

Tampereen teknilliseltä yliopistolta kiitän Tuula Tuhkasta diplomityöni tarkastuksesta sekä pääaineopinnoista yhdessä Saila Kallioisen ja Simo Isoahon kanssa. Muistelen lämmöllä myös saamaani monipuolista ja kiinnostavaa opetusta TTY:n rakennustekniikan laitoksella.

Erityiset kiitokset kuuluvat lisäksi puolisololleni Miinalle diplomityöni kommentoinnista sekä kaikesta tuesta ja kannustuksesta, jota olet tämänkin projektin aikana osoittanut! Suuret kiitokset myös Sampalle englanninkielisen tiivistelmän kommentoinnista.

Tampereella, 14.6.2010

---

Hannes Björninen

## SISÄLLYS

1.	Johdanto .....	1
2.	Hulevesien hallinnan lähtökohdat .....	3
2.1.	Hulevesien muodostuminen .....	3
2.2.	Kaupungistumisen hydrologiset vaikutukset .....	4
2.3.	Hulevesien haittavaikutukset .....	6
2.4.	Hulevesien hallintamenetelmät .....	10
3.	Hulevesien hallinnan suunnittelu .....	12
3.1.	Hulevesien hallinnan tavoitteet .....	12
3.2.	Suunnittelun tasot .....	13
3.3.	Suunnittelun lähtökohdat .....	14
3.4.	Hulevesijärjestelmien mitoitus .....	15
4.	Hulevesimallinnus .....	18
4.1.	Taajamahydrologisten mallien rakenne ja toiminta .....	18
4.2.	Mallinnus osana suunnittelua .....	19
4.3.	Mallinnuksen haasteet .....	21
5.	Hulevesimallin parametrien valinta .....	24
5.1.	Sadetapahtumat .....	24
5.1.1.	Rankkasateiden esiintyminen .....	25
5.1.2.	Rankkasateiden ajallinen muoto .....	27
5.1.3.	Rankkasateiden intensiteetit .....	30
5.1.4.	Ilmastonmuutoksen vaikutukset .....	31
5.2.	Valuma-alueiden hydrologia .....	33
5.2.1.	Sadannan häviöt .....	33
5.2.2.	Läpäisemättömän pinnan määrä .....	36
5.2.3.	Kertymisajan määrittäminen .....	39
6.	Johtopäätökset .....	42
	Lähteet .....	45
	Osa 2 – Case Vuores .....	51

## TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

<b>BMP</b>	<i>Best Management Practices</i> , parhaat käytettävissä olevat hallintamenetelmät
<b>CDS-sade</b>	<i>Chicago Design Storm</i> -jakaumaan perustuva sateen ajallinen muoto
<b>EIA</b>	<i>Effective Impervious Area</i> , tehokkaat läpäisemättömät pinnat
<b>Manning <math>n</math></b>	Pinnan hydraulista karkeutta kuvaava yksikötön arvo
<b>RATU</b>	<i>Rankkasateet ja taajamatulvat</i> -hanke. Maa- ja metsätalousministeriön ja Ympäristöministeriön rahoittama hanke, jossa osapuolina Suomen ympäristökeskus (SYKE), Ilmatieteen laitos (IL) ja Teknillinen korkeakoulu (TKK)
<b>RYVE</b>	<i>Kaupunkivedet ja niiden hallinta</i> -projekti. Osa ympäristöministeriön rahoittamaa Ympäristöklusterin tutkimusohjelmaa <i>Kestävän yhdyskunnan infrastruktuuri, EKO-INFRA</i>
<b>RIA</b>	<i>Rooftop Impervious Area</i> , läpäisemättömät kattopinnat
<b>SWMM</b>	<i>Storm Water Management Model</i> , U.S. E.P.A:n kehittämä menetelmä hulevesien hallinnan tietokonemallinnukseen
<b>TIA</b>	<i>Total Impervious Area</i> , läpäisemättömien pintojen kokonaismäärä
<b>TSS</b>	<i>Total Suspended Solids</i> , kiintoaineen kokonaismäärä vedessä
<b>U.S. E.P.A.</b>	<i>United States Environmental Protection Agency</i> , Yhdysvaltojen ympäristöhallinto

# 1. JOHDANTO

Viimevuosina on havahduttu hulevesien aiheuttamiin ongelmiin. Ongelmat ovat ilmenneet etenkin paikallisina rankkasadetulvina, joista ovat kärsineet useat Suomen kaupungit. Suomen suurimmat taloudelliset vahingot aiheuttanut rankkasadetulva tapahtui vuonna 2007 Porissa (Aaltonen et al. 2008). Rankkasadetulvien lisäksi hulevesien aiheuttamasta pienvesistöjen ja järvien veden laadun heikkenemisistä on oltu viime vuosina yhä enemmän huolissaan.

Hulevesien aiheuttamat ongelmat perustuvat kaupunkirakentamisesta johtuvaan suureen maankäytön muutokseen. Kun luonnontilainen tai hyvin väljästi rakennettu alue rakennetaan tiiviisti, sen hydrologia muuttuu ratkaisevasti. Muutokset valuma-alueen hydrologiassa koskevat ensisijaisesti valunnan syntyä, kokonaismäärää ja valuntatyyppejä (Kuusisto 2002). Lämpäsemättömien pintojen lisääntyessä valunnan kokonaismäärä kasvaa ja samanaikaisesti suurin osa valunnasta on pintavaluntaa eli hulevesivaluntaa, mikä johtaa hulevesimäärien ja huippuvirtaamien kasvuun valuma-alueen purkureiteillä. Tästä aiheutuvia suurimpia ongelmia ovat tulviminen ja eroosio purku-uomissa, epäpuhtauksien ja kiintoaineksen kulkeutuminen purkuvesistöihin ja maaperään sekä pohjavedenpinnan lasku. Valuntaprosessin muutoksilla on myös selviä fysikaalisia, kemiallisia ja hygieenisiä vaikutuksia kaupunkiympäristön pienvesistöjen ja järvien vesien laatuun. Suomessa kaupunkirakentamisen vaikutuksia pieniin valuma-alueisiin ja vesistöihin on tutkittu yhä enemmän viimeisen kymmenen vuoden aikana muun muassa RYVE-projektissa (Kotola & Nurminen 2003; Kuusisto 2002).

Sadanta on suure, joka vaikuttaa hulevesijärjestelmien mitoituksen kautta olennaisesti yhteiskunnan infrastruktuurin suunnitteluun, kustannuksiin ja uhkiin (Aaltonen et al. 2008). Mikäli suunnittelua tehdään riittämättömien tai virheellisesti tulkittujen sadantatietojen pohjalta, saatetaan ylimitoittamisella päätyä tarpeettoman kalliiseen ratkaisuun tai toisaalta alimitoittamisella aiheuttaa tulvariskin huomattavaa kasvua. Koska hulevesijärjestelmät, etenkin sadevesiviemäriverkot, ovat kalliita rakentaa ja ne suunnitellaan toimimaan useita vuosikymmeniä, on ensiarvoisen tärkeää tehdä mitoitus oikein perustein. Viimevuosina sadannan ominaispiirteiden ja etenkin rankkasateiden tutkimus onkin ollut Suomessa aktiivista. Suomen rankkasateiden ominaispiirteitä tutkineen Kilpeläisen (2006) tutkimustietoon pohjautuen Aaltonen et al. (2008) on esittänyt RATU-hankkeen yhteydessä suositukset uusiksi Suomessa käytettäviksi rankkasadejakauksiksi. Hankkeen yhteydessä esitettiin myös arvio ilmastomuutoksen vaikutuksista Suomen sadantaan, rankkasateisiin ja hulevesijärjestelmiin. Laajaan tutkimusaineistoon perustuen Aaltonen et al. (2008) on

todennut, että ennustettu ilmastonmuutos aiheuttaa rankkasateiden yleistymistä ja intensiteetin kasvua.

Ilmastonmuutoksen vaikutukset yhdessä kaupungistumisen kanssa lisäävät tarvetta hallita hulevedet entistä paremmin. Myös varautuminen rankkasateiden aiheuttamiin tulviin sekä lisääntynyt huoli kaupunkiympäristön tilasta ovat kasvattaneet tarvetta hallita ja käsitellä hulevesiä entistä tehokkaammin ja luonnonmukaisemmin. Hulevesien aiheuttamien haittojen ehkäisemiseksi on kehitetty eritasoisia hulevesien käsittely- ja hallintamenetelmiä, joista käytetään kirjallisuudessa usein englanninkielistä termiä Best Management Practices (*BMPs*). Niillä tarkoitetaan tekniikkaa, toimenpidettä tai rakenteellista ratkaisua, jota käytetään huleveden määrän hallitsemiseen tai laadun parantamiseen mahdollisimman kustannustehokkaalla tavalla (Strubble et al. 1997; US EPA 1999). Suomenkielisissä teksteissä *BMP*:t kuvataan yleensä ilmaisuilla *hulevesien luonnonmukaiset hallintamenetelmät* (Hyöty 2007) tai *hulevesien vaihtoehtoiset hallintamenetelmät* (Aaltonen et al. 2008).

Hulevesien hallinnan suunnittelu on muuttunut Suomessa yhä enemmän yksittäisten kohteiden kuivatuksen suunnittelusta kiinteäksi osaksi maankäytön suunnittelua ja sitä ohjataan useissa kaupungeissa erityisellä hulevesistrategialla (Nurmi et al. 2008; Jutila 2009; Vantaan kaupunki 2009). Tekemällä hulevesisuunnittelua riittävän aikaisessa vaiheessa voidaan parhaiten huomioida ja säilyttää luonnolliset valuma-alueajat ja kaupunkivesistöjen ominaispiirteet. Lisäksi voidaan ottaa paremmin huomioon hulevesien muodostumisen ehkäisy ja erilaisten hallintamenetelmien edullisimmat sijoituspaikat.

Mallinnusohjelmien käyttö on mahdollistanut entistä yksityiskohtaisemman hulevesisuunnittelun. Tietokoneohjelmilla voidaan luoda monipuolisia, valuma-alueet, verkostot ja hulevesien hallintajärjestelmät sisältäviä hulevesimalleja, joilla pystytään tarkastelemaan hyvin vaihtelevia tilanteita ja havainnollistamaan hallintatoimenpiteistä aiheutuvia muutoksia. Mallien käyttö edellyttää kuitenkin laadukkaita lähtötietoja ja ymmärrystä eri parametrien vaikutuksesta kokonaisuuteen. Jotta käytännön suunnittelutyössä vältytään liialliselta monimutkaisuudelta, malliin on tehtävä aina karkeita yksinkertaistuksia.

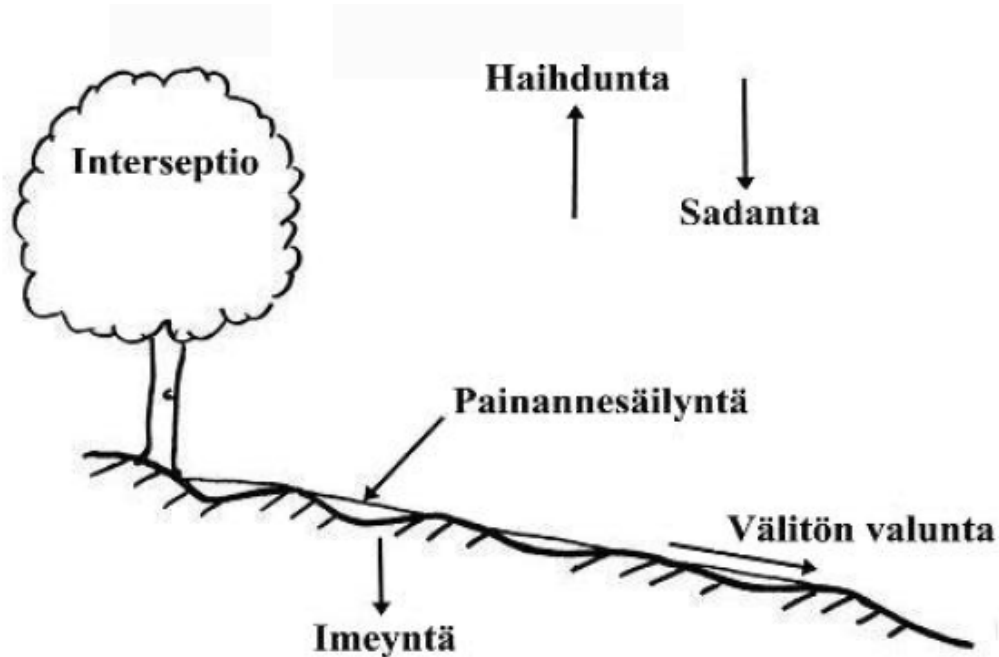
Tässä työssä tarkastelu on rajattu taajamien hulevesien hallintaan liittyviin kysymyksiin ja rankkasadetilanteisiin. Näkökulmana on erityisesti mallinnuksen tehokas hyödyntäminen suunnittelutyössä siten, että rajallisten resurssien puitteissa pystyttäisiin tekemään mahdollisimman laadukkaita ja luotettavia hulevesimallinnuksia. Työn soveltavassa osassa on laadittu konsulttitoimeksiantona Tampereen kaupungin tilauksesta *Vuoreksen hulevesien hallinnan yleissuunnitelman päivitys ja hulevesimallinnus*. Siinä on koottu yhteen yli 13 000 asukkaan uuteen Vuoreksen kaupunginosaan laaditut hulevesien hallintasuunnitelmat ja rakennettu näiden perusteella kattava hulevesimalli kahdesta Vuoreksen päävaluma-alueesta, niiden valumareiteistä ja hulevesien hallintajärjestelmistä. Mallinnuksen tulosten perusteella arvioitiin tähän mennessä suunniteltujen järjestelmien riittävyttä ja tarkasteltiin niiden toimintaa vaihtelevissa mitoitus- ja poikkeustilanteissa.

## 2. HULEVESIEN HALLINNAN LÄHTÖKOHDAT

### 2.1. Hulevesien muodostuminen

Taajamahydrologiassa huomio kiinnittyy tyypillisesti yksittäisten sadetapahtumien aiheuttamiin valuntatilanteisiin. Se osuus *sadannasta*, joka ei pidäty kasvistoon tai ei häviä haihdunnan vaikutuksesta muodostaa *kokonaisvaluntaa*. Taajamahydrologiassa kokonaisvalunta on yksinkertaisinta jakaa *pohjavaluntaan* (pohjavesivalunta ja hidas pintakerrosvalunta) sekä *välittömään valuntaan* (pintavalunta ja nopea pintakerrosvalunta) (Metsäranta 2003).

Hulevesien hallinnan kannalta kiinnostavinta on välitön valunta, koska se aiheuttaa rankkasadetilanteissa suurimmat hetkelliset virtaamien ja vesimäärien muutokset. Välitöntä valuntaa ja etenkin siihen liittyvää pintavaluntaa kutsutaan yleisesti *hulevesivalunnaksi* (*stormwater runoff*) (Kotola & Nurminen 2003a). Hulevesivaluntaa muodostuu, kun esiintyy *tehoisaa sadantaa* (*excess rainfall*) eli, kun sadanta on suurempi kuin valuma-alueella tapahtuvat alkuhäviöt. Alkuhäviöihin kuuluvat haihdunta, interseptio, painannesäilyntä ja imeytyminen maaperään (imeyntä) (Overton & Meadows 1976). Kun rankkasateen intensiteetti kasvaa, alkuhäviöiden merkitys pienenee ja välittömän pintavalunnan osuus kasvaa. Sadannan alkuhäviöitä ja välittömän valunnan muodostumista on havainnollistettu *kuvassa 1*.



**Kuva 1.** Sadannan alkuhäviöt ja välittömän valunnan muodostuminen (Overton & Meadows 1976, Metsäranta 2003 mukaan)

## 2.2. Kaupungistumisen hydrologiset vaikutukset

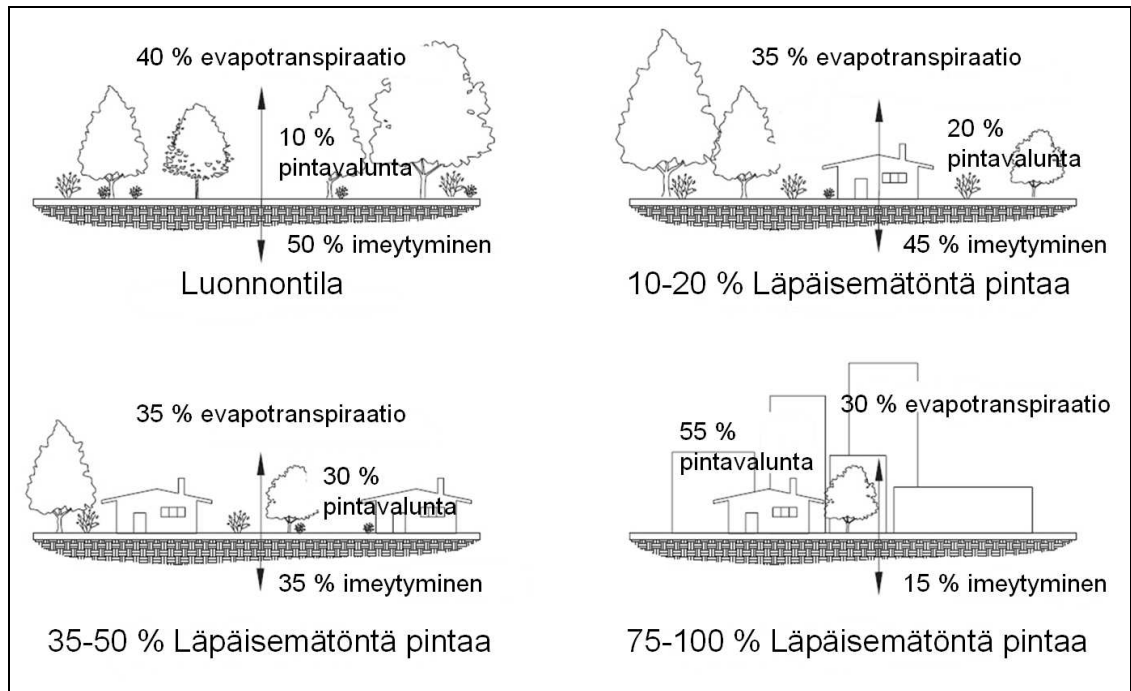
Kaupungistuminen on ollut Suomessa nopeaa viime vuosikymmeninä. Esimerkiksi Enckell et al. (2002) on todennut yhdyskuntarakenteen seurantajärjestelmän (YKR) tietojen perusteella, että Uudenmaan ympäristökeskuksen toimialueella taaja-asutusalue on kasvanut 43 % vuosien 1980–2000 aikana. Vuonna 2005 noin 4,4 miljoonaa suomalaista asui taajamissa, mikä vastaa noin 84 % väestöstä. (Tilastokeskus 2007)

Kaupunkirakentaminen muuttaa alueen maankäyttöä ratkaisevasti. Kun luonnontilainen tai harvaan rakennettu alue muutetaan tiiviisti rakennetuksi alueeksi, sen hydrologiset ominaisuudet muuttuvat selvästi. Muutokset koskevat ensisijaisesti valunnan syntyä, kokonaismäärää ja valuntatyyppiä. Kun läpäisemättömien pintojen osuus valuma-alueesta kasvaa, imeytyminen maaperään pienenee merkittävästi. Lisäksi rakentamisen yhteydessä luonnollista, vettä imevää maan pintakerrosta häiritään ja tiivistetään tai se poistetaan kokonaan, jolloin läpäisevätkään alueet eivät kykene enää imeyttämään vesiä luonnontilaisten alueiden tapaan. Rakennetut pinnat ovat myös tasaisempia kuin luonnontilaiset pinnat, jolloin pinnoille ominaisen varastotilavuuden eli painannesäilynnän merkitys pienenee. Luonnontilaisten viheralueiden vähentyessä myös kasvillisuuteen pidättyvän ja siitä edelleen haihdunnalla (evapotranspiraatio) poistuvan veden osuus pienenee. Lyhyissä ja intensiteetiltään suurissa rankkasadetilanteissa myös läpäisemättömiltä pinnoilta tapahtuvan haihdunnan merkitys jää vähäiseksi. (APWA 1981; US EPA 1999)

Alueen rakentaminen siis pienentää häviöiden osuutta sadannasta, jolloin valunnan kokonaismäärä kasvaa ja hallitsevaksi valuntatyyppiä muodostuu pintavalunta. Vastaavasti maaperässä tapahtuvan pintakerrosvalunnan ja pohjavesivalunnan osuus pienenee. Tämän on todettu aiheuttavan etenkin kuivina ajanjaksoina purojen ja alueellisten valtaojien perusvirtaaman alenemista sekä pohjavedenpinnan laskua (APWA 1981; US EPA 1999), mikä rakennetuilla alueilla voi johtaa haitalliseen maanpinnan painumiseen (Holmstrand 1984).

Schuelerin (1994) mukaan kaupungistuneen valuma-alueen hydrologisten muutosten indikaattorina toimii varsin suoraviivaisesti läpäisemättömien asfaltti- ja kattopintojen määrä. Läpäisemättömien pintojen määrän vaikutuksia keskimääräisiin sadannan häviöiden suuruuteen ja pintavalunnan muodostumiseen on havainnollistettu *kuvassa 2*.





**Kuva 2.** Rakentamisen vaikutukset sadannan häviöiden suuruuteen ja pintavalunnan muodostumiseen (perustuen: Livingston & McCarron 1992)

Kaupunkirakentamisen vaikutuksia pieniin valuma-alueisiin ja vesistöihin Suomessa tutkinut Kuusisto (2002) havaitsi, että päällystetyn pinnan osuus (*TIA*, *total impervious area*) tutkittujen valuma-alueiden maa-alasta on kasvanut 1940- ja 50-luvulta vuoteen 2001 mennessä keskimäärin 5–9-kertaiseksi. Tarkastelujakson lopussa päällystettyjä pintoja oli keskimäärin noin 20 % valuma-alueen maa-alueesta, kun jakson alussa osuus oli keskimäärin 2–3 %. Alan kirjallisuudessa, esimerkiksi Melanen (1986), on yleisesti arvioitu, että hulevesivalunnan osuus kasvaa kaupunkirakentamisesta johtuen pitemmän aikajakson tarkasteluissa tasosta 10 % luokkaan 40–55 %. Rankkasadetilanteissa paljon läpäisemätöntä pintaa sisältävillä alueilla, kuten kaupunkien keskustoissa, pintavalunnan osuus muodostuu vielä suuremmaksi luokkaan 70–80 % (Mc Cuen 2004). Mitä pienempiä alueita tarkastellaan sitä suuremmaksi hulevesivalunnan osuus voi rankkasadetilanteissa kasvaa. Paikallisesti, esimerkiksi kiinteistötasolla, pintavalunnaksi voi muuttua ääritilanteissa lähes koko sademäärä.

Tiiviisti rakennetuilla alueilla pintavalunnan osuus riippuu lähinnä läpäisemättömien pintojen osuudesta alueella, mutta väljemmin rakennetuilla ja viheralueita sisältävillä alueilla maaperän laadun ja maanpinnan kaltevuuden merkitys kasvaa. Väljemmin rakennetuilla alueilla hulevesivalunnan muodostumiseen vaikuttaa olennaisesti myös läpäisemättömien pintojen sijainti suhteessa sadevesiviemäriverkostoon ja avo-ojiin. Suoraan kuivatusjärjestelmään yhteydessä olevia läpäisemättömiä pintoja kuvataan tehokkaan läpäisemättömän pinnan käsitteellä (*EIA*, *effective impervious area*). Jos suoria yhteyksiä läpäiseviltä pinnoilta verkostoon ei ole, pintavalunta kulkee läpäisevien pintojen kautta, jolloin pintavalunnan nopeus

hidastuu, osa vedestä imeytyy maaperään ja pidättyy pinnan painannesäilynnän varastotilavuuteen. Tästä syystä Schueler (1994) esittää, että katualueilla on suurempi hydrologinen vaikutus kuin kattopinnoilla, koska katualueet ovat suurimmalta osin suoraan yhteydessä kuivatusjärjestelmään. Katualueiden merkitystä korostaa se, että tyypillisesti niiden osuus läpäisemättömistä pinnoista on suurempi kuin kattopintojen (City of Olympia 1995).

Toinen merkittävä, yleisesti todettu kaupunkirakentamisen vaikutus on valuntaprosessin nopeutuminen (APWA 1981; Kuusisto 2002). Nopeutuminen johtuu ennen kaikkea läpäisemättömien pintojen määrän kasvusta ja rakennetuille alueille tehtävistä kuivatusjärjestelmistä. Keinotekoisista uomista, ojista ja sadevesiviemäreistä muodostuvalla kuivatusjärjestelmällä korvataan yleensä kaupunkialueen luontaiset ensimmäisen asteen latvauomat, jotka muuten hidastaisivat ja rajoittaisivat hulevesivaluntaa. Kuivatusjärjestelmät muodostavat tiheän verkoston, joka tehostaa hulevesien pois johtamista. Ojista ja sadevesiviemäreistä muodostuvan kuivatusverkoston kokonaispituus on Kuusiston (2002) tutkimuksessa todettu kasvavan noin 2–4-kertaiseksi verrattuna rakentamista edeltävää uomastoon. Veden virtausnopeus rakennetuissa uomissa ja sadevesiviemäreissä on suurempi kuin luonnontilaisissa ojissa, minkä lisäksi rakennettujen pintojen tasaisuus nopeuttaa pintavaluntaa.

Edellä kuvattujen tekijöiden yhteisvaikutuksesta valuma-alueen valuntaprosessi kiihtyy, jolloin sadanta muuttuu tehokkaammin hulevesivalunnaksi: hulevesimäärät kasvavat ja hulevesien virtaamahuiput saapuvat entistä nopeammin verkoston solmupisteisiin. Tiivistä rakennetuilta valuma-alueilta virtaamahuippu muodostuu nopeasti, esimerkiksi 10–20 minuutissa, kun taas vastaavan kokoiselta rakentamattomalta alueelta huippuvirtaaman muodostumiseen voi kulua tunteja. Samalla myös sateen ominaisuuksien merkitys pintavalunnan muodostumiseen muuttuu. Rakentamattomilta alueilta pintavaluntaa muodostuu vasta pitkäkestoisen ja intensiteetiltään suuren sadetapahtuman jälkeen, kun taas rakennetuilla alueilla pintojen pienestä vedenpidätyskyvystä johtuen suuri osa sadannasta muuttuu pintavalunnaksi sateen intensiteetistä ja kestosta riippumatta. (Herricks 1995)

### **2.3. Hulevesien haittavaikutukset**

Hulevesien haittavaikutukset perustuvat niiden määrän lisääntymiseen, virtaamahuippujen kasvamiseen ja niiden mukana kulkeutuviin epäpuhtauksiin. US EPA (1999) on käsitellyt haittavaikutuksia kattavasti ja jakanut ne kahteen tyyppiin: virtaamiin liittyviin vaikutuksiin (*flow impacts*) ja elinympäristöön liittyviin vaikutuksiin (*habitat impacts*). Chocat (et al. 2001) on puolestaan jaotellut hulevesiin liittyviä ongelmia neljään päätyyppiin hieman laajemmasta näkökulmasta alla olevan listan mukaisesti (Vakkilainen 2005):

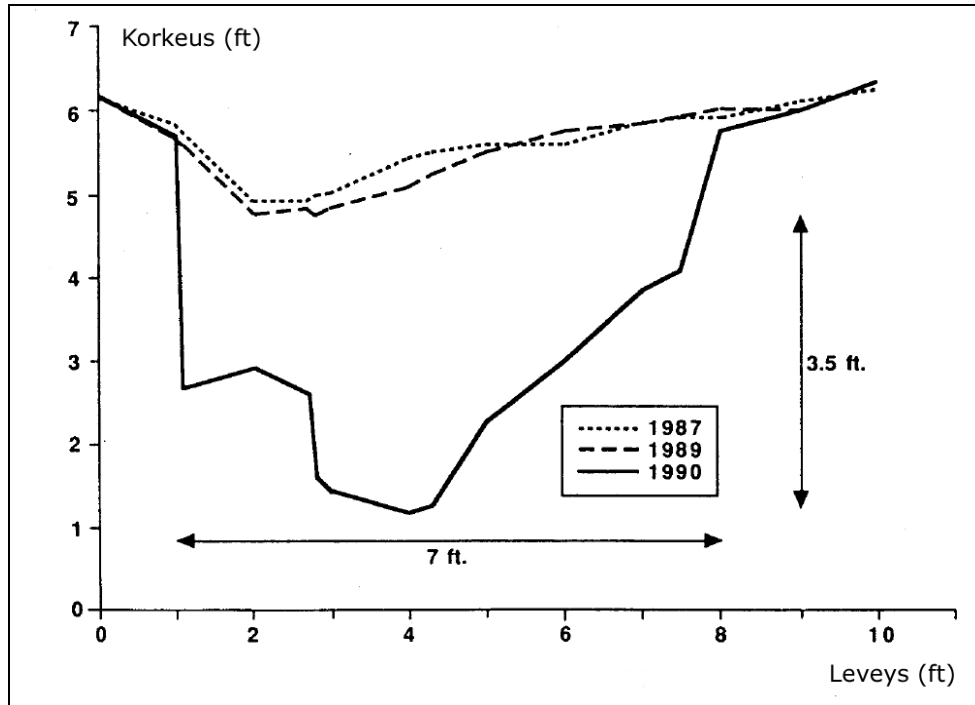
1. Huleveden määrään ja virtaamiin liittyvät ongelmat.
2. Huleveden laatuun liittyvät ongelmat.
3. Maiseman estetiikkaan, ekologiaan ja ympäristön käyttökelpoisuuteen liittyvät ongelmat
4. Jätevesijärjestelmän käyttöön liittyvät ongelmat.

Hulevesien hallinnan kannalta esille nostetaan tyypillisesti hulevesien määrään, huippuvirtaamiin ja laatuun liittyvät ongelmat. Rakennetussa ympäristössä erityisesti hulevesimäärien kasvu ja hulevesivalunnan nopeutumisesta johtuva virtaamahuippujen ääreistyminen aiheuttavat vahinkoja niin ympäristölle kuin omaisuudellekin. Rakentamisen tiivistyessä vanhat tai puutteellisesti suunnitellut kuivatusjärjestelmät voivat jäädä riittämättömiksi kasvaneelle hulevesivalunnalle. Myöskään uudet alueet eivät ole ongelmattomia, koska esimerkiksi tulvareittejä ei ole aina mietitty alueen suunnittelun yhteydessä. Kun usean rakennetun alueen virtaamahuiput esiintyvät verkoston solmupisteessä samanaikaisesti, muodostuu hyvin suuria hetkellisiä virtaamia, jotka voivat ylittää verkoston tai uoman kapasiteetin aiheuttaen paikallista tulvimista. Booth (1991) on todennut, että kaupunkirakentaminen kasvattaa erityisesti pienten tulvien esiintymistä. Tulvimisriski kasvaa sadevesiviemäriverkon lisäksi myös valuma-alueiden tärkeimmissä purku-uomissa, joissa tulvavirtaamat voivat kaupunkirakentamisesta johtuen jopa viisinkertaistua. Tämä kasvattaa merkittävästi tulvimisen aiheuttamien omaisuusvahinkojen riskiä etenkin uoman sijoittuessa tiiviin kaupunkirakenteen sisään. (Booth 1991)

Valuntaprosessin ääreistymisellä on selviä haittavaikutuksia omaisuuden lisäksi myös ympäristölle kuten kaupunkiympäristön purkuvesistöinä toimiville puroille, alueellisille valtaojille ja joille. Kaupungistumisen vaikutuksesta uomien perusvirtaamat alenevat ja tulvavirtaamat kasvavat, jolloin vedenpinnan korkeuden vaihtelu uomissa kasvaa suureksi. Lisäksi rakennetuilla alueilla uomia usein suoritetaan ja perataan, mikä kasvattaa virtausnopeuksia. Yhä useammin esiintyvät tulvavirtaamat huuhtovat uoman pintakerrosta mukaansa vaikeuttaen uoman penkkoja stabiloivan syväjuuristen kasvillisuuden ja puuston kehittymistä. Kaupunkipuroissa rantakasvillisuus muodostuu tyypillisesti matalajuurisista heinistä, joiden uoman vakavuutta lisäävä vaikutus jää vähäiseksi. Etenkin puuston vähentyessä uomaan päätyy yhä vähemmän lehtiä, oksia ja puunrunkoja, jotka rajoittaisivat virtaamia ja monipuolistaisivat puron elinympäristöä. (Booth 1991; US EPA 1999)

Kasvaneet virtaamat aiheuttavat yhä suurempaa eroosiota valuma-alueiden purku-uomissa. Eroosio johtaa uomamorfologisiin muutoksiin, joka imenee ensin uoman syvenemisenä. Uoman syventyessä sen penkat jyrkkenevät ja ajan kuluessa lopulta sortuvat uomaan. Tämän syklin jatkuessa uoma vähitellen syvenee ja levenee. Jatkuva uomamorfologinen muutos yksipuolistaa uoman vesieliöstöä ja aiheuttaa eroosion lisääntymistä. Veden syvyyden ja virtausnopeuden kasvaessa uomassa tapahtuva kiintoaineksen laskeutuminen vähenee, mikä kasvattaa sedimenttikuormitusta alajuoksulla. Kerran muutamassa vuosikymmenessä esiintyvän myrskyn

uomamorfologisia vaikutuksia on havainnollistettu *kuvassa 3*, jossa tarkastellaan 1 km<sup>2</sup> laajuisen kaupungistuneen valuma-alueen purku-uomaa. Kuvasta nähdään, että uoman syvyys on kasvanut jopa viisinkertaiseksi, leveys yli kolminkertaiseksi ja uoman luiskat ovat jyrkentyneet huomattavan paljon.



**Kuva 3.** Vuonna 1990 esiintyneen myrskyn aiheuttama muutos 1 km<sup>2</sup> kaupungistuneen valuma-alueen purku-uoman poikkileikkauksessa. Mitat esitetty jalkoina. (muokattu lähteestä Booth 1991)

Kotolan ja Nurmisen (2003a) osana RYVE-projektia laatimassa laajassa kirjallisuusselvityksessä on todettu kaupungistumisen heikentävän pintavesien laatua, Hulevedet aiheuttavat hajakuormitusta, koska hulevesien mukana teiltä, katoilta ja pysäköintialueilta huuhtoutuu vesistöihin epäpuhtauksia. Päästölähteistä suurimmat ovat liikenne, teollisuus, rakennukset, eläinten jätökset ja jätteet. Suurimmat laatuongelmat esiintyvät sadetapahtumien alussa, kun satanut vesi huuhtoo läpäisemättömille pinnoille kertyneet epäpuhtaudet mukaansa. Ilmiötä kutsutaan suomenkielisessä kirjallisuudessa alkuhuhtoumaksi (*first flush*). Yksittäisen sadetapahtuman aiheuttaman hulevesivalunnan laatuun vaikuttavat Hoglandin (1986) mukaan olennaisesti seuraavat tekijät (Kotola ja Nurminen 2003a):

1. Sateen kesto ja intensiteetti
2. Sadetta edeltävän kuivan kauden kesto
3. Valuma-alueen ominaisuudet kuten pinnan kaltevuus ja maaperän laatu
4. Roskien ja muun aineen biokemiallisten aineosien määrä ja konsentraatio
5. Ilmasto
6. Kadunlakaisun tehokkuus

Erityisten päästölähteiden lisäksi lisääntynyt purku-uomien eroosio lisää kiintoainekuormitusta purkuvesistössä. Ongelmaa pahentaa kaupunkialueella luonnollisten vesiä puhdistavien elementtien kuten avo-ojien, lammikoiden ja kosteikkojen puute. Hulevesien tärkeimmät haitta-aineet ja niiden pääasialliset päästölähteet on koottu *taulukkoon 1*.

**Taulukko 1.** Hulevesien haitta-aineet ja tärkeimmät päästölähteet (US EPA 1999).

<b>Haitta-aine</b>	<b>Päästölähde</b>
Kiintoaines ja kelluvat partikkelit	Tiet, kadut, pysäköintialueet, jalkakäytävät, nurmikot, rakennustyömaat, uomien eroosio
Typpi ja fosfori	Nurmi- ja puistoalueiden lannoitteet, eläinten jätökset, pesuaineet, uomien eroosio
Metallit	Tiet, kadut, pysäköintialueet, teollisuusalueet, metallipinnat
Öljyt, rasvat, hiilivedyt	Tiet, kadut, pysäköintialueet
Bakteerit ja virukset	Eläinten jätökset, nurmialueet, kadut, vuotavat viemärit
Orgaaninen aines	Asuinalueiden nurmialueet ja puutarhat, puistot, eläinten jätökset
Torjunta-aineet	Asuinalueiden nurmialueet ja puutarhat, tien penkat, puistot, huuhtoutuminen maaperästä

Maailmanlaajuisen kirjallisuusselvityksen hulevesien laadusta tehnyt Duncan (1999) ei havainnut suuria maankäyttötyyppikohtaisia eroja kaupungistuneiden alueiden hulevesien laadussa. Kuitenkin asuinalueiden hulevesissä havaittiin olevan hieman enemmän fosforia ja bakteereja kuin muilla rakennetuilla alueilla kuten teollisuus- ja liikealueilla. Toisaalta asuinalueiden hulevesissä todettiin alhaisempia metallien ja orgaanisen hiilen pitoisuuksia kuin teollisuus- ja liikealueilla. Sen sijaan Melasen (1982) laatimassa Valtakunnallisessa hulevesitutkimuksessa kuuden kaupunkivaluma-alueen väliset erot kasvoivat hyvinkin suuriksi. Pääsääntöisesti kuormitus oli sitä suurempaa mitä enemmän valuma-alue sisälsi läpäisemättömiä pintoja. Myös Kotola & Nurminen (2003b) totesivat RYVE-projektin ja valtakunnallisen hulevesitutkimuksen (Melanen 1982) perusteella, että päällystetyn pinta-alan kasvu nostaa huleveden keskimääräisiä ainepitoisuuksia. Erityisesti päällystetty pinta kasvattaa kiintoaines- ja kokonaisfosforipitoisuuksia. Vähiten vaikutusta havaittiin kokonaistypen ja kemiallisen hapenkulutuksen arvoihin.

## 2.4. Hulevesien hallintamenetelmät

Hulevesien luonnonmukaiset hallintamenetelmät voidaan jakaa kahteen pääryhmään: rakenteellisiin (*structural*) ja ei-rakenteellisiin (*non-structural*) menetelmiin. Ei-rakenteellisilla menetelmillä tarkoitetaan ohjeistuksella ja ylläpidolla saavutettavaa ennaltaehkäisevää toimintaa. Tähän kuuluu tärkeänä osana kestävä maankäyttö, jolla mahdollistetaan valunnan kannalta tärkeiden luonnollisten painanteiden, kosteikkojen ja vesialueiden säilyttäminen, suositaan puskurivyöhykkeiden käyttöä sekä vähennetään läpäisemättömien pintojen käyttöä. Ei-rakenteellisiin menetelmiin kuuluu myös nykyisen infrastruktuurin asianmukainen ylläpito, yleistä tietämystä lisäävä koulutus sekä hulevesiin päästöjä aiheuttavien materiaalien ja jätteiden kartoitus ja vähentäminen. (Urbonas 1994; US EPA 1999).

Rakenteellisilla menetelmillä tarkoitetaan toimenpiteitä, joilla muutetaan huleveden määrää tai laatua. Rakenteellisia menetelmiä on alan kirjallisuudessa jaoteltu monella eri tavalla, mutta seuraava yleisesti käytetty jako antaa hyvän kuvan erilaisista rakenteellisista menetelmistä (Urbonas 1994; US EPA 1999; Marsalek & Chocat 2002).

- Imeytysjärjestelmät (*infiltration systems*) ja suodatinjärjestelmät (*filter systems*)
- Viivytyjärjestelmät (*detention systems*)
- Pidätysjärjestelmät (*retention systems*)
- Kosteikkojärjestelmät (*wetland systems*)
- Läpäisemättömien pintojen ja suoraan sadevesiviemäriverkkoon yhteydessä olevien alueiden minimointi (*minimized directly connected impervious area*)
- Biosuodattimet (*Vegetated systems, biofilters, bioretention*)
- Muut sekalaiset menetelmät kuten öljynerottimet ja lamelliselkeyttimet

Yksittäisissä hulevesien hallintamenetelmissä yhdistyvät tyypillisesti eri menetelmien ominaisuudet. Esimerkiksi hulevesiä viivyttävissä järjestelmissä tapahtuu lähes poikkeuksetta myös imeytymistä. Menetelmien samankaltaisuuden lisäksi niistä käytettävien termien samankaltaisuus hankaloittaa jakoa, joten liian tiukkaa ryhmittelyä eri menetelmien välille ei ole tarpeen tehdä. Sen sijaan suunnittelussa tulee keskittyä eri hulevesien hallintamenetelmien muodostaman kokonaisuuden ymmärtämiseen. Eräs suunnittelun kannalta looginen ryhmittely kolmijako, joka perustuu hallintamenetelmien luonteeseen. Ensin pyritään hulevesien muodostumisen vähentämiseen, sitten hulevesien hallittuun johtamiseen ja tämän jälkeen tavoitteet ylittävien hulevesimäärien viivyttämiseen. Alla on esitetty jaottelu ja kunkin vaiheen keskeiset rakenteelliset hallintamenetelmät. (Hyöty 2007)

- Hulevesien vähentäminen (läpäisevät päällysteet, viherkatot, imeytysmenetelmät)
- Hulevesien johtaminen (kourut, kanavat, viherpainanteet, avo-ojat, rakennetut purot)
- Hulevesien viivyttäminen (kosteikot, lammikot, viivytyspainanteet ja -kaivannot)

Luonnonmukaisen hulevesien hallinnan keskeisenä ajatuksena on hajauttaa hallintamenetelmiä valuma-alueen eri osiin ja pyrkiä vaikuttamaan virtaamiin jo niiden syntypaikalla (*source control*). Hulevesien hallintajärjestelmät ajatellaankin useista menetelmistä koostuvana laajempänä kokonaisuutena, jolla pyritään eri menetelmiä järkevästi yhdistelemällä täyttämään kustannustehokkaasti paikalliset hulevesien hallinnalle asetetut tavoitteet (Aaltonen et al. 2008). Hallintajärjestelmiä hajauttamalla pyritään myös alentamaan yksittäisten hallintajärjestelmien kuormitusta ja mitoitusta.

Yksittäiset hulevesien hallintamenetelmät ja useista menetelmistä muodostuvat alueelliset kokonaisuudet valitaan ja suunnitellaan tapauskohtaisesti. US EPA:n (1999) mukaan menetelmien valintaa ohjaavat useat tekijät, joista merkittävimmät ovat tapauskohtaisesti määräytyvä hulevesien hallinnan tarve sekä maankäyttö, johon hallintamenetelmät on sovitettava. Lisäksi menetelmien valintaan vaikuttavat olennaisesti suunnittelualueen topografia ja maaperän laatu (Hyöty 2007). Teknisen näkökulman lisäksi hallintamenetelmien valintaa ohjaavat voimakkaasti taloudelliset näkökulmat sekä julkinen hyväksyntä. Julkisen hyväksynnän osuus korostuu erityisesti jos menetelmät edellyttävät maiseman voimakasta muuttamista tai menetelmien, kuten hulevesialtaiden tai -kosteikkojen, katsotaan vaarantavan esimerkiksi lasten turvallisuutta. Kotimaisissa suunnitteluohjeissa (Hyöty 2007) hallintamenetelmien soveltuvuutta erilaisiin kohteisiin on käsitelty yksityiskohtaisemmin.

### 3. HULEVESIEN HALLINNAN SUUNNITTELU

#### 3.1. Hulevesien hallinnan tavoitteet

Hulevesien hallinnalla on US EPA:n (1999) mukaan seuraavat kolme pää tavoitetta: hulevesivalunnan hallinta, epäpuhtauksien poistaminen hulevesistä ja epäpuhtauksien lähteiden vähentäminen. Hulevesivalunnan hallinnalla tarkoitetaan hulevesien muodostumisen ja hulevesivalunnan vähentämistä sekä huleveden määrän ja virtausnopeuksien aiheuttamien haittojen ehkäisyä. Konkreettisia tavoitteita ovat tyypillisesti hulevesitulvien ehkäisy, eroosion hallinta purku-uomissa sekä pohjaveden pinnan laskun ehkäisy. Epäpuhtauksien lähteiden vähentämisellä ja epäpuhtauksien poistamisella pyritään pienentämään hulevesien heikon laadun aiheuttamia haittoja purkuvesistöissä, maaperässä ja pohjavesissä.

Yksittäiset hulevesien hallintamenetelmät toteuttavat lähes poikkeuksetta samanaikaisesti useita astetuista tavoitteista. Esimerkiksi hulevesiä viivyttävillä menetelmillä saadaan virtaamien rajoittamisen lisäksi aina myös hulevesien sisältämien epäpuhtauksien määrää vähennettyä. Hulevesien määrän ja laadun hallinnan lisäksi hulevesien hallinnalla tavoitellaan myös muita arvoja kuten kaupunkiympäristön viihtyisyyttä ja esteettisyyttä. Tähän liittyen kaupungeissa pyritään lisäämään myös hulevesien hyötykäyttöä puistojen ja viheralueiden rakentamisessa (Nurmi et al. 2008).

Hulevesien määrän ja laadun hallinnan taustalla on keskeisenä tavoitteena kaupunkiympäristön ja pienvesistöjen monimuotoisuuden säilyttäminen. Schueler (1994) on esittänyt hallinnan tavoitteiden määrittämiseen menetelmän, joka perustuu valuma-alueen maankäyttöön ja maankäytöstä seuraaviin vaikutuksiin taajamapuroissa. Indikaattorina toimii valuma-alueen läpäisemättömien pintojen osuus valuma-alueen maa-alasta (*TIA, Total Impervious Area*) seuraavasti: luokka I (0–10 % TIA), luokka II (11–25 % TIA) ja luokka III (26–100 % TIA).

Luokassa I taajamapuro on mahdollista säilyttää luonnontilaisena. Vedenlaatu, puron biodiversiteetti ja uoman vakavuus ovat hyvät, joten hulevesien hallinnan keskeisenä tavoitteena tulee olla näiden turvaaminen myös tulevaisuudessa. Paras keino tavoitteen saavuttamiseksi on läpäisemättömien pintojen rajoittaminen sekä valuma-alueella että kiinteistökohtaisesti. Lisäksi puro tulisi suojata laajalla ja yhtenäisellä suojavyöhykeverkostolla.

Luokassa II taajamapuroa ja sen valuma-alueen hydrologiaa pidetään jo selvästi muuntuneena. Puron vedenlaatu ja biodiversiteetti ovat kohtalaiset, paikoin jopa hyvät, mutta uomaa voidaan pitää suuremmista virtaamavaihteluista johtuen jo epävakana. Hulevesien hallinnan tavoitteena tulee olla puron tärkeimpien ominaispiirteiden säilyttäminen tehokkaan hulevesivirtaamien ja laadun hallinnan avulla.



Luokan III purot ja valuma-alueet ovat menettäneet luontaiset ominaisuutensa. Suurista hulevesivirtaamien vaihteluista ja hulevesien heikosta laadusta johtuen puron vedenlaatu ja biodiversiteetti ovat alhaisia ja uoma on erittäin epävakaa. Uomaa ei ole mahdollista pitää luonnontilaisena, vaikka valuma-alueella olisi laajojakin hulevesien hallintamenetelmiä käytössä. Hulevesien hallinnan erityisenä tavoitteena tulee olla alapuoliseen vesistöön kohdistuvan haitta-ainekuormituksen, etenkin ulosteperäisten bakteerien rajoittaminen mahdollisimman tehokkaasti. Alueelle suositellaan nykyisen taajamarakenteen tiivistämistä täydennysrakentamisella ja mahdollisimman laajojen, pintavaluntaa suodattavien viherkäytävien säilyttämistä tai uusien rakentamista.

### **3.2. Suunnittelun tasot**

Hulevesisuunnittelu on nivoutunut kiinteäksi osaksi maankäytön suunnittelua etenkin Suomen suurimmissa kaupungeissa. Suunnittelun pohjana on strategia, ja tämän jälkeen suunnittelua tarkennetaan asteittain maankäytön suunnittelun edetessä. Tyypillisesti suunnittelu voidaan jakaa neljään tasoon seuraavasti.

1. Strateginen taso
2. Yleiskaavataso
3. Asemakaavataso
4. Rakennuslupa- ja toteutusvaihe

Strategisella tasolla määritetään kunnan hulevesien hallinnan tahtotila ja suuret linjaukset. Strategisena asiakirjana toimii hulevesistrategia tai -ohjelma, jollainen on laadittu useissa Suomen suurissa kaupungeissa viime vuosina. Hulevesistrategia on vapaaehtoinen asiakirja, jossa selvitetään kunnassa noudatettavat hulevesien hallinnan yleiset tavoitteet, periaatteet ja menetelmät. Asiakirjan tavoitteena on sovittaa yhteen eri näkökulmat ja järjestelmät sekä selkeyttää eri osapuolten osallistumis- ja vastuukysymykset. Strategia laaditaan yhteistyössä ympäristöviranomaisen sekä ainakin maankäytöstä, vesihuollosta ja rakennusvalvonnasta vastaavien kunnan toimijoiden kanssa. Asiakirja on suunnattu ensisijaisesti kuntaorganisaation eri toimijoiden omaan käyttöön ja se voidaan laatia eritasoisena tarpeen mukaan, jolloin sen luonne voi olla toisaalta strateginen periaatepaperi tai toisaalta tarkemmin suunnittelukäytäntöihin kantaa ottava asiakirja. Hulevesistrategiaa laadittaessa tulee pyrkiä siihen, että se huomioi kaikki hulevesien hallintaan ja teknisiin ratkaisuihin liittyvät näkökulmat kuten tulvien hallinnan, hulevesien laadun, rakenteiden kuivatuksen, ympäristönsuojelun, turvallisuuden, toiminnallisuuden, esteettisyyden ja virkistyskäytön. (Nurmi et al. 2008; Vantaan kaupunki 2009; Jutila 2009)

Hulevesien hallintamenetelmien valintaa ja sijoittumista ohjataan yhä useammin jo yleiskaavatasolla. Yleiskaavatasolla tiedot tulevasta maankäytöstä ovat uusien alueiden osalta karkeita, joten hulevesien hallinnan yleissuunnitelmissakin keskitytään määrittämään hulevesien hallinnan tarve ja laajuus vain karkealla tasolla.

Yleissuunnitelmat ovatkin luonteeltaan vaikutusten arviointeja eli niissä tutkitaan rakentamisen aiheuttamaa hulevesikuormituksen muutosta. Tämän perusteella suunnitellaan tarvittavat hulevesien hallintamenetelmät ja esitetään niille sijoitusvaihtoehtoja kaavoituksen reunaehdot huomioiden. Yleissuunnitelmassa myös selvitetään alueellisten hallintamenetelmien ja valumareittien mitoitustarve ja tilantarve. Yleiskaavatasolla tehtävän suunnittelun tärkein tavoite on varmistaa riittävä ohjausvaikutus alueen asemakaavoitusta varten. Toisin sanoen tavoite on varmistaa, että hulevesistrategiassa esitettyjen hallinnan tavoitteiden toteuttamiseksi annetaan tarvittavat kaavamääräykset ja varataan riittävästi tilaa hallintajärjestelmiä varten.

Asemakaavatasolla tarkennetaan yleiskaavatasolla tehtyjä suunnitelmia. Erityisesti tarkoituksena on valita käytettävät hallintamenetelmät ja tarkentaa niiden sijoittumista ja mitoitusta. Asemakaavatasolla suunnittelualan maankäyttö on jo riittävällä tarkkuudella selvillä, joten suunnittelussa voidaan mennä yksityiskohtaisemmalle tasolle. Asemakaavataso suunnitelmissa ohjataan erityisesti kiinteistöjen alueella tapahtuvaa hulevesien hallintaa. Asemakaavoissa voidaan antaa myös tarkempia kaavamääräyksiä, kuten esimerkiksi Tampereella yleisesti käytössä oleva *hule-9*-merkintä, jolla edellytetään määrätyn suuruista kiinteistökohtaista hulevesihallintaa (Tampereen kaupunki 2010).

Rakennuslupa- ja toteutusvaiheessa suunnitellaan hulevesien johtamis- ja hallintamenetelmien yksityiskohdat. Erityisesti suunnitellaan kiinteistökohtaiset hallintamenetelmät ja varmistetaan muun infrastruktuurin ja hulevesien hallintajärjestelmien yhteensopivuus. Jotta järjestelmät toimisivat suunnitellulla tavalla, on rakentamisen ja yksityiskohtien suunnitteluun kiinnitettävä erityistä huomiota.

### 3.3. Suunnittelun lähtökohdat

Hulevesien hallinnan suunnittelun tulee lähteä aina huolellisesta valuma-alue-tarkastelusta, jossa selvitetään valumaolosuhteiden lisäksi suunnittelualan ominaispiirteet, käsittelytarpeet ja ongelmakohdat. Tarkastelun perusteella määritetään toisaalta kuinka hyvin hallintatuloksiin suunnittelualueella tulee pyrkiä ja toisaalta taso, johon hallinnalla on mahdollista päästä. Käytettävät hallintamenetelmät tulee valita tapauskohtaisesti ottaen huomioon hallinnan todellinen tarve ja hallinnalle asetetut tavoitteet. Lisäksi on otettava huomioon paikalliset olosuhteet kuten nykyinen ja tuleva maankäyttö, maanperän laatu, topografia, vesistöjen tila ja kasvillisuus. Lisäksi hallintamenetelmien tulee täyttää rakenteiden ja alueiden kuivatukselle asetetut tavoitteet sekä olla rakennus- ja ylläpitokustannuksiltaan kohtuulliset. Hulevesien haittavaikutusten ehkäisemiseksi rakennetuilla alueilla tulisi pyrkiä valuma-alueen vesitaseen ja purkautuvan veden laadun säilyttämiseen mahdollisimman lähellä rakentamista edeltävää tasoa. (Hyöty 2007)

Kaupunkien hulevesistrategioilla pyritään edistämään tarkoituksenmukaisten ja ympäristöön sopivien hulevesien hallintaratkaisujen käyttöönottoa. Hulevesien hallintaa ohjataan muun muassa Helsingin (Nurmi et al. 2008), Vantaan (Vantaan kaupunki

2009) ja Hämeenlinnan (Jutila 2009) kaupunkien hulevesistrategioissa erityisellä prioriteettijärjestyksellä, joka kuvaa suositeltavien hallintatoimenpiteiden järjestystä tyypillisesti neljällä tai viidellä tasolla, joita käsitellään seuraavaksi.

*Taso 1:* Hulevesien hallinnassa tulee keskittyä haittavaikutusten poistamiseen eikä ainoastaan haittojen siirtelyyn alueelta toiselle. Ensisijaisia toimenpiteitä ovat tällöin epäpuhtauksien päästölähteiden vähentäminen, päästölähteisiin liittyvien riskien minimointi sekä huleveden muodostumisen ehkäisy. Hulevesistrategioissa hallinnan lähtökohdaksi onkin asetettu hulevesien syntypaikkakäsittely ja hyödyntäminen. Mikäli imeyttävät ratkaisut eivät ole suunnittelualueen olosuhteista johtuen mahdollisia, hulevesiä pyritään viivyttämään tontilla tai yleisillä alueilla ennen niiden poisjohtamista.

*Taso 2:* Jos hulevesien syntypaikkakäsittely ei ole mahdollista, hulevedet tulee johtaa eteenpäin mahdollisimman luonnonmukaisesti maanpinnalla olevilla, hulevesivaluntaa hidastavilla ojilla ja painanteilla. Näillä viivytetään hulevesiä siten, että osa niistä imeytyy maahan, haihtuu ja pidättyy kasvillisuuteen. Virtaamien hidastamisella ehkäistään valuma-alueen alapuolisten uomien ylikuormitusta ja saadaan hulevesien laatua parannettua.

*Taso 3:* Tiiviisti rakennetuilla alueilla ei välttämättä ole tilaa hulevesien johtamiseen avouomissa, vaan hulevedet kerätään sadevesiviemäriverkolla. Tällöin tulee toteuttaa hulevesiä viivyttävä ja käsittelevä järjestelmä sadevesiviemärin purkupisteeseen, ennen kuin hulevedet johdetaan lopullisesti taajamapuroon tai vesistöön. Käsittelyyn tulee kiinnittää erityistä huomiota jos hulevesien laatu on huono.

*Taso 4:* Viimeinen vaihtoehto, mitä tulee aina pyrkiä välttämään, on hulevesien johtaminen sadevesiviemäriverkostolla suoraan vastaanottavaan vesistöön. Kuitenkin jos muita vaihtoehtoja ei toteutushetkellä ole, tulee sadevesiviemärien kuntoa tarkkailla, jotta pahoja tulvatilanteita ei pääsisi rankkasadetilanteissa syntymään. Purkautuvan veden laatua tulisi myös tarkkailla säännöllisesti.

*Taso 5:* Mikäli alueella on sekaviemäröinti eikä erillisviemäröintiä ole mahdollista toteuttaa, hulevedet johdetaan sekaviemäröinnin mukana jätevedenpuhdistamolle.

### **3.4. Hulevesijärjestelmien mitoitus**

Hulevesien johtamis- ja hallintajärjestelmät mitoitetaan samoin periaattein kuin muutkin pintavalunnan johtamiseen ja käsittelyyn tarkoitetut järjestelmät. Lähtökohtaisesti hulevesijärjestelmien mitoitus perustuu rankkasateisiin, koska rakennetuilla alueilla ne aiheuttavat suuremmat hetkelliset hulevesivirtaamat ja hulevesimäärät kuin lumen sulaminen. Mitoittava rankkasade määritetään perinteisesti kolmen tekijän perusteella, joita ovat sadetapahtuman toistuvuus, kesto aika ja rankkuus eli sateen intensiteetti. Näistä tekijöistä sateen toistuvuus ja kesto aika liittyvät kiinteästi valuma-alueen laajuuteen, maankäyttöön ja riskikohteisiin. (Hyöty 2007; Aaltonen et al. 2008)

Sateen tilastollinen toistuvuus, esimerkiksi kerran kymmenessä vuodessa, määrittää riskitason, jolla esimerkiksi tietyn laajuista tulvimista ollaan valmiita

hyväksymään. Hulevesien hallintajärjestelmää suunniteltaessa mitoitussateen toistuvuudella kuvataan ennen kaikkea rakennuskustannusten ja tulvimisesta aiheutuvien haittojen ja vahinkojen vertailua. Mikäli ollaan arvokkaassa ympäristössä tai esimerkiksi liikenteen toiminnan kannalta merkittävissä kohteissa, käytetään harvemmin, esimerkiksi kerran 50–200 vuodessa toistuvia sadetapahtumia, jolloin vahinkojen riski jää alhaisemmaksi. Tyypillisesti Suomessa on erillisviemärointi, jolloin sadevesiviemärien tulviminen ei aiheuta ongelmia, mutta etenkin vanhempien kaupunkien keskustoissa on vielä sekaviemärointi, jonka tulviminen on haitallista. Sen sijaan maaseudulla ja pienemmillä paikkakunnilla käytetään mitoituksessa useammin toistuvia sadetapahtumia, koska vahinkojen riski on pienempi. (Aaltonen et al. 2008)

Mitoitussateen käyttöä on aiheellisesti kritisoitu taajamahydrologiassa, koska valuntahuipun muodostumiseen vaikuttaa sadetapahtuman lisäksi olennaisesti valuma-alueen ominaisuudet ja etenkin vallitsevat olosuhteet ennen sadetapahtumaa. Esimerkiksi Nixin (1994) mukaan kerran kahdessa vuodessa toistuva sade voi aiheuttaa kerran viidessä tai kymmenessä vuodessa toistuvan valuntatapahtuman, jos maaperä on jo valmiiksi kostea sadetapahtuman alkaessa. Ajatus tietystä suunnittelualuekohtaisesta mitoitussateesta ei myöskään vastaa eritasoisten hulevesien luonnonmukaisten hallintamenetelmien toimintaperiaatteita ja niille asetettuja tavoitteita.

Luonnonmukaisten hulevesien hallintajärjestelmien toiminta perustuu suurelta osin hulevesien viivyttämiseen ja poikkeustilanteiden hallintaan. Poikkeustilanteiden osalta hallintajärjestelmien mitoituksessa tulisi ottaa huomioon myös peräkkäisten sateiden mahdollisuus, jolloin järjestelmien varastointikapasiteetista osa voi olla jo käytössä seuraavassa rankkasadetilanteessa. Tätä silmällä pitäen etenkin hulevesiä viivyttävien järjestelmien mitoituserusteena suositellaan käytettäväksi harvemmin toistuvaa sadetapahtumaa, kuin sadevesiviemärien mitoituksessa perinteisesti käytettyä Suomen kuntatekniikan yhdistyksen (2001) suosittamaa kerran 2–3 vuodessa toistuvaa tapahtumaa (Hyöty 2007).

Menetelmäkohtaisia, Suomen olosuhteisiin soveltuvia mitoitushojeita ei ole toistaiseksi laadittu. Tilanne on kuitenkin muuttumassa vuoden 2010 aikana, kun Kuntaliiton teettämä verkossa julkaistava Hulevesiopas valmistuu (Hyöty 2010). Hulevesioppaassa alustavasti esitettävät mitoituserusteet on koottu *taulukkoon 2*.

**Taulukko 2.** Mitoitusperiaatteet hulevesien hallintajärjestelmille. (Hyöty 2010)

Järjestelmä	Mitoituseruste
Laadullinen hallinta ja imeytys	Yleisesti toistuvat sadetapahtumat, esim. 80 % vuosittaisista sadetapahtumista
Hajautettu määrällinen hallinta	Lyhyehkö rankkasade, esim. kerran viidessä vuodessa esiintyvä 10 minuutin sade, jonka sademäärä noin 10 mm.
Keskitetty määrällinen hallinta	Purkuvirtaama säädetään halutulle, esim. rakentamista edeltäneelle tasolle. Mitoitustilanteen toistuvuutena ympäristön mukaan esim. kerran 3, 5 tai 10 vuodessa.
Tulvasuojelurakenteet ja tulvareitit	Mitoitustilanteen toistuvuus kohteen mukaan esim. kerran 20–200 vuodessa

*Taulukosta 2* nähdään, että hulevesien hallintajärjestelmän tarkoituksella on suuri vaikutus suositeltavaan mitoitusperiaatteeseen. Esimerkiksi hulevesien laadullisessa hallinnassa on olennaista pystyä hallitsemaan usein toistuvien sateiden aiheuttamat pienet hulevesivirtaamat, joilla on niiden lukumäärästä johtuen todennäköisesti suurin vaikutus purkuvesistön vedenlaatuun. Sen sijaan suuremmat keskitetyt hulevesien hallintajärjestelmät sekä tulvasuojelurakenteet ja tulvareitit tulee mitoittaa täysin erilaisille ja selvästi harvemmin toistuville sadetapahtumille. Vaihtelevien mitoitustilanteiden käyttäminen on helpottunut ratkaisevasti tietokoneilla tehtävän hulevesimallinnuksen myötä. Seuraavassa kappaleessa paneudutaan hulevesimallinnukseen osana suunnittelua.

## 4. HULEVESIMALLINNUS

### 4.1. Taajamahydrologisten mallien rakenne ja toiminta

Taajamahydrologiset mallit eli hulevesimallit voidaan jaotella hyvin monella eri tavalla esimerkiksi monimutkaisuustason ja matemaattisen lähestymistavan mukaan (Nix 1994). Nykyaikaiset mallit ovat pääosin monimutkaisia fysikaalis- tai prosessiperusteisia hulevesimalleja, jotka muodostuvat hydrologisesta ja hydraulisesta osasta (Roesner 1982). Nykyiset taajamahydrologiassa käytetyt hulevesimallit perustuvat suurelta osin Yhdysvaltojen ympäristöhallinnon, *US EPA:n (United States Environmental Protection Agency)*, kehittämään SWMM-malliin (*Storm Water Management Model*). Ensimmäinen SWMM-malli, jolla pystyttiin simuloimaan hulevesien määrää ja laatua julkaistiin jo vuonna 1971 (Metcalf & Eddy et al. 1971). Tämän jälkeen ohjelma on kehittynyt merkittävästi yleisen tietoteknisen kehityksen mukana ja viimeisin, vuonna 2005 julkaistu ohjelmaversio (SWMM 5.0) sisältää kattavat toiminnot sadanta-valunta -prosessin mallintamiseen. Viimeisin päivitys (5.0.18) on julkaistu vuoden 2009 lopulla. Ohjelma perustuu avoimeen lähdekoodiin ja se on vapaasti ladattavissa *US EPA:n* verkkosivuilta.

SWMM 5.0 -laskentamootorin ympärille on rakennettu lukuisia kaupallisia mallinnusohjelmia ja SWMM onkin laajalti käytössä kaupunkialueiden hulevesien hallinnan suunnittelussa ja tutkimuksessa (Rossman 2009). Vaikka SWMM on tunnettu parhaiten rakennetun ympäristön hydrologisessa mallinnuksessa, Suhyung et al. (2007) on todennut sen soveltuvan erinomaisesti myös rakentamattomien alueiden mallinnukseen. SWMM perustuu neljään osamalliin, joiden välillä vesi ja epäpuhtaudet liikkuvat tiettyjen algoritmien perusteella. Osamallit kuvaavat ilmakehää, maan pintaa, pohjavettä ja hulevesien johtamista alla olevan luettelon mukaisesti. (Rossman 2009)

1. Ilmakehän osamalli (*atmosphere compartment*) kuvaa veden ja epäpuhtauksien päätymistä sadantana maanpinnalle toimien mallin syötteenä (*rain gage*).
2. Maan pinnan osamalli (*land surface compartment*) muodostuu yhdestä tai useammasta pienvaluma-alueesta (*subcatchment*). Vastaanottaa sadannan ja lähettää siitä valuma-alueen parametrien mukaisesti osan imeyntänä pohjaveden osamallille ja osan epäpuhtaudet sisältävänä pintavaluntana hulevesien johtamisen osamallille. Pienvaluma-alueen kuvaamiseen käytetään epälineaarisen altaan menetelmää, jossa valuma-alue oletetaan matalaksi altaaksi.
3. Pohjaveden osamalli (*groundwater compartment*) vastaanottaa imeyynnän maan pinnan osamallilta ja lähettää osan siitä hulevesien johtamisen osamallille.

4. Hulevesien johtamisen osamalli (*transport compartment*) muodostuu hydraulisista mallin osista kuten avo-ojista, putkista, altaista, patorakenteista ja pumpuista. Syötteenä toimii pintavalunta, pohjavesivalunta tai valittu vakiovirtaama tai hydrografi

Osamalleista kolmen ensimmäistä muodostavat hydrologisen mallin, joka kerää valuma-alueelta sadannan muodostaman pintavalunnan. Hydrologinen malli perustuu mallinnuksen pohjaksi laadittavaan valuma-alue selvitykseen, jossa määritetään riittävällä tarkkuudella valuma-alueiden raja-alue, pinta-ala, maankäyttö ja muut hydrologiset ominaisuudet. Koska taajamien valuma-alueet ovat ominaisuuksiltaan vaihtelevia, ne on tarpeen jakaa useiksi erillisiksi pienvaluma-alueiksi. Jaon tarkkuus tulee valita suunnittelukohteen mukaan ja usein on hyödyllistä tihentää jakoa paljon hulevesiä muodostavilla alueilla kuten taajamien keskustoissa. Ennen kaikkea jaon muodostamisessa tulee huomioida, mitä mallinnuksella on tarkoitus tutkia. Esimerkiksi tutkittavien verkoston osien yläpuolelle on muodostettava yksi tai useampi oma pienvaluma-alue, jotta haaraan tulevia hulevesivirtaamia ja haaran käyttäytymistä voidaan mallintaa. Neljäs SWMM:n osamalli muodostaa hydraulisen mallin, joka johtaa valunnan viemärointi- tai ojaverkon läpi. Mallinnuksen tavoitteista riippuen osamalleista voidaan jättää osa käyttämättä ja korvata ne valmiilla syötteillä kuten erilaisilla hydrografeilla.

Hulevesien hallinnan suunnittelussa ja erikoistilanteiden tutkimisessa SWMM-mallin keskeinen ominaisuus on niin sanottu dynaaminen menetelmä (*dynamic wave routing*). Dynaaminen menetelmä mahdollistaa epäyhtenäisesti jakautuneen, ajan suhteen muuttuvan virtauksen ollen SWMM:n käyttämistä laskentamenetelmistä teoreettisesti tarkin (Rossman 2009). Sen etuihin kuuluu mahdollisuus ottaa huomioon monimutkaisia hydraulisia ilmiöitä kuten paineellinen virtaus, taaksepäin virtaus, verkostojen tulviminen ja padotus sekä paikallishäviöt. Dynaaminen menetelmä mahdollistaa myös veden lammikoitumisen verkoston solmupisteiden (kaivojen) ympäristöön, jolloin tulviva vesi ei katoa mallista vaan palaa verkostoon heti sen ollessa mahdollista. Hulevesien padottumisesta johtuva paineellinen virtaus putkissa sekä avouomien ja sadevesiviemäriverkoston tulviminen ovat yleisiä ilmiöitä käytännön rankkasadetilanteissa, joten näiden huomioiminen myös mallinnuksessa on hyvin perusteltua. Esimerkiksi Tanskassa suositellaan hulevesiviemäreiden mitoittamiseen ja analysointiin juuri dynaamista menetelmää (Aaltonen 2008).

## 4.2. Mallinnus osana suunnittelua

Käytännön hulevesisuunnittelutyötä rajaavat käytettävissä olevat resurssit, sillä aikarajat ovat usein kireitä ja suunnittelu tulisi tehdä kustannustehokkaasti. Resurssit määrittävät sen kuinka yksityiskohtaista ja kattavaa suunnittelua on mahdollista tehdä. Suunnittelussa on käytettävä tehokkaita työkaluja, kuten hulevesimalleja, ja keskittyttävä asetettujen tavoitteiden kannalta olennaisiin tekijöihin. Hulevesimallien käytön taustalla

on kustannustehokkuuden lisäksi tarve saada yksityiskohtaisempi kuva poikkeustilanteiden aiheuttamista ongelmista valuma-alueella ja tutkia monimutkaisien hulevesien johtamis- ja hallintajärjestelmien toimintaa vaihtelevissa olosuhteissa. Empiiriset laskukaavat ja taulukkolaskentaan perustuvat laskentamenetelmät eivät ole riittävän monipuolisia yksityiskohtaisempaa hulevesijärjestelmien suunnittelua silmällä pitäen. Lisäksi ne ovat liian työläitä ja hitaita lukuisien erilaisten tarkastelujen tekemiseen. Aaltonen et al. (2008) toteaa kuitenkin, että empiirisilläkin menetelmillä on yhä hyvät puolensa, kun tarkoituksena on johtaa hulevedet pois alueelta mahdollisimman nopeasti ja tarkasteltava kohde on riittävän yksinkertainen.

Kehittyneistä työkaluista huolimatta suunnittelun perusasiat eivät ole muuttuneet. Ilmiöiden taustalla oleva teoria ja malliin syötettävien parametrien vaikutus tulee edelleen ymmärtää ja sen merkitys vain korostuu käytettäessä monimutkaisia mallinnusohjelmistoja. Mallilla saatavat tulokset pitää pystyä perustelemaan ja tarvittaessa pitäisi pystyä laskemaan vastaavat tulokset käsin. Mallien käyttöön liittyy myös muita haasteita, kuten riittävien lähtötietojen hankkiminen sekä mallien validointi ja kalibrointi, joita käsitellään jäljempänä. Diplomitoissään muun muassa Metsäranta (2003), Tiihonen (2007) ja Aaltonen (2008) ovat käsitelleet mallinnuksen teoreettista taustaa ja eri mallivaihtoehtoja tarkemmin, joten tässä yhteydessä keskitytään suunnittelun näkökulmaan.

Mallinnusohjelmilla voidaan kohtuullisella vaivalla laatia hulevesimalleja, joilla hydrologisten olosuhteiden ja mallinnettavien järjestelmien parametrien vaikutuksia lopputulokseen on nopea tutkia. Tästä on erityistä hyötyä suunnittelussa ja mitoituksessa silloin, kun on tarpeen laatia erilaisia skenaarioita, joissa sateiden, valuma-alueiden ja hallintajärjestelmien parametrit vaihtelevat. Vaikka mallinnuksen hyödyt korostuvat monimutkaisten järjestelmien kohdalla, mallinnus nopeuttaa merkittävästi myös pienimuotoisten tarkastelujen tekemistä. Suunnittelutyössä on toisinaan tarpeen saada nopealla aikataululla riittävän tarkkoja tuloksia esimerkiksi eri vaihtoehtojen vertailusta. Suunnitelmien tarkentuessa muutosten ja täydennysten teko malliin on verrattain helppoa, mikä tekee suunnittelusta entistä joustavampaa.

Hulevesimallinnusta voidaan käyttää hyvin apuna suunnittelun eri vaiheissa. Niin yleiskaavatason, asemakaavatason kuin toteutusvaiheenkin suunnitelmissa mallinnusmenetelmät voivat olla samat, mutta lähtötietojen ja tulosten osalta liikutaan hyvin erilaisissa tarkkuuksissa. Yleiskaavatasolla joudutaan tekemään malliin syötettävien parametrien osalta merkittävästi suurempia yleistyksiä ja oletuksia, koska maankäytöstä ei ole vielä kovin yksityiskohtaisia tietoja. Lähtöarvojen suurista epävarmuuksista johtuen yleiskaavatasolla ei ole tarpeen mennä mallinnuksessa liiallisiin yksityiskohtiin. Olennaisinta on selvittää kyseessä olevan rakennushankkeen aiheuttamat hydrologiset muutokset valuma-alueella ja määrittää hulevesien hallinnan tarve ja suuruus. Sen sijaan asemakaavatason ja toteutusvaiheen suunnittelun yhteydessä hulevesimalliin voidaan syöttää suunnitellut hulevesien johtamis- ja hallintajärjestelmät sekä rakennetun ympäristön yksityiskohdat selvästi suuremmalla tarkkuudella.



### 4.3. Mallinnuksen haasteet

#### *Parametrien valinta*

Käytännön mallinnustyössä suurin haaste on usein sadetapahtumien ja valuma-alueiden parametrien valinta siten, että ne kuvaisivat todellisia hydrologisia ilmiöitä ja valuma-alueita mahdollisimman hyvin. Bahat et al. (2009) on esittänyt, että sadetapahtumaan liittyvät epävarmuudet olisivat selvästi merkittävämpiä kuin valuma-alueiden parametreihin liittyvät epävarmuudet, kun ennustetaan hulevesien muodostumista. Saman johtopäätöksen teki myös Metsäranta (2003) Espoon koealueilla tehtyjen tutkimusten perusteella. Sadetapahtumien osalta Suomessa tilanne on parantunut viime vuosina muun muassa Kilpeläisen (2006) ja Aaltosen (et al. 2008) laatimien rankkasateita käsittelevien selvitysten valmistuttua. Muun muassa näiden selvitysten tuloksia esitellään tässä raportissa myöhemmin *kappaleessa 5*, jossa käsitellään mallin parametrien valintaa.

Valuma-alueiden ja verkostojen parametrisoinnin ongelma korostuu uudisrakentamiseen liittyvän hulevesisuunnittelun yhteydessä. Uusista alueista ei ole mitattavia tietoja saatavilla, vaan suunnittelu perustuu kaavoissa esitettyihin aluerajauksiin, havainnekuviin, oletettuihin pintamateriaaleihin ja rakennustehokkuuksiin. Malliin syötettävät parametrit valitaan näissä tapauksissa kirjallisuudessa esitettyjen kokeellisten tai teoreettisten arvojen perusteella olettaen, että ne pätevät myös kyseiselle suunnittelualueelle. Menettelyyn liittyy suuria epävarmuuksia etenkin jos käytettävissä ei ole vertailutietoja ominaisuuksiltaan samankaltaisilta alueilta. Valuma-alueiden ja sadetapahtumien lisäksi epävarmuutta liittyy sadevesiviemäreiden linjauksiin, korkotasoihin ja putkikokoihin sekä vastaavasti katuihin, pihoihin ja avo-ojiin. Myös nykyisissä sadevesiviemäriverkostokartoissa voi esiintyä selviä virheitä ja puutteita.

Valuma-alueen parametrisoinnin ongelma liittyy myös korkeusmallien käyttöön. Esimerkiksi Aaltonen (2008) toteaa Espoon Vallikallion koealueella tekemänsä mallinnuksen perusteella, että lähtötietojen suurin epävarmuus liittyi nimenomaan korkeusaineistoon. Suhteellisen tarkasta korkeusaineistosta huolimatta paikoin korkeusmalliin jäi virheitä, jotka voivat johtaa esimerkiksi hulevesien virheellisiin virtausreitteihin. Jos suunnittelualue on laaja, korkeusmallien käyttö voi johtaa myös tarpeettoman raskaisiin käyttötiedostoihin ja suureen tarpeeseen korjailla korkeusmallia käsin. Hulevesimallinnusta tehtäessä tuleekin tarkkaan harkita, onko tarpeellista käyttää varsinaista korkeusmallia vai vain määrittää tarvittavat korkeustasot käsin esimerkiksi karttatarkastelun tai tasaussuunnitelmien perusteella.

#### *Hulevesien laadun mallinnus*

Hulevesien laadun mallinnuksessa on vielä monia haasteita. Työkalut sen suorittamiseen on mallinnusohjelmistoissa olemassa, mutta ongelman muodostavat

suunnittelukohteen lähtöarvojen valinta. Ulkomaista tutkimustietoa hulevesien epäpuhtauksista on koottu muun muassa osana RYVE-projektia (Kotola & Nurminen 2003a), mutta lukuarvojen soveltuvuus Suomen olosuhteisiin on epävarmaa. Esimerkiksi maankäyttötyyppien ja niiden aiheuttamien keskimääraisten päästöjen määrittämisessä on tutkimusten välillä suurta vaihtelua. Park et al. (2009) on todennut, että valumakertoimien ja keskimääraisten päästöjen määrittämisessä tehdyistä oletuksista johtuen keskimääräinen kiintoainekuormitus (*TSS, Total Suspended Solids*) vaihteli mallinnuksessa suuresti, noin -70 % ja +120 % välillä. Teoriassa on siis mahdollista asettaa valuma-aluekohtaiset keskimääräiset päästöt malliin, mutta niiden yleistettävyys koskemaan suunnittelualuetta ja riippuvuus rankkasadetilanteen ominaisuuksista on hyvin epävarmaa.

Hulevesien laadun mallinnuksessa toinen suuri kysymys liittyy hulevesien hallintamenetelmien toimintaan. Yleisesti tiedetään, että esimerkiksi hulevesiä viivyttävät järjestelmät parantavat hulevesien laatua, mutta mallinnuksessa se on todettu vaikeasti osoitettavaksi. Käytettävien lähtöarvojen vaihtelu on kuitenkin niin suurta, että tilastomatematisesti hallintamenetelmien tehoa on vaikea havaita. Tämä ei johdu hallintamenetelmien toimimattomuudesta, vaan hulevesien laadun vaihteluista ja puutteellisista hulevesien laatuun liittyvistä lähtötiedoista (Park et al. 2009). Näin ollen hulevesien laatua on arvioitava hulevesimäärien ja virtaamien kautta, joihin hulevesien laadulla on Zoppoun (1999) mukaan voimakas yhteys. Suuret hulevesimäärät ja tulviminen huuhtovat pinnoilta runsaasti epäpuhtauksia, kun taas suuret huippuvirtaamat johtavat eroosion lisääntymiseen. Näin voidaan olettaa, että hulevesimäärien ja virtaamien kasvaessa hulevesistä johtuvat vedenlaatuongelmat suurenevät. Toisaalta riippuvuus havaitaan myös viivytys- ja imeytysjärjestelmissä, jotka hulevesien määrän lisäksi rajoittavat hyvin myös hulevesien mukana kuljettamien epäpuhtauksien kulkeutumista eteenpäin.

### ***Mallin kalibrointi***

Hulevesimallinnuksessa esiintyy virhettä kaikilla tasoilla ja ne voidaan jakaa kolmeen osavirheeseen: mallin rakenteellisiin virheisiin, parametrien virheisiin ja mallin laskennan aikaisiin virheisiin, joiden summana voidaan määrittää mallinnuksen kokonaisvirhe. Määrittäminen ei ole kuitenkaan helppoa, koska osavirheiden vuorovaikutussuhteet ovat epäselviä. Jos esimerkiksi mallin rakenteellisesta virheestä johtuen valuma-alueen kertymisaika muodostuu liian suureksi, sitä kompensoidaan mallin kalibroinnin yhteydessä valuma-alueen parametreja muuttamalla. Tällöin on mahdollista saada periaatteessa oikeita tuloksia hyvin erilaisilla parametrijärjestelmillä, vaikka sekä mallin rakenteessa että parametreissa on selvää virhettä. (Ewen et al. 2006)

Mallin kalibroinnin tavoitteena on muodostaa parametrikombinaatio, jolla mallinnetut arvot vastaavat mitattuja mahdollisimman hyvin. Nix (1994) suosittelee mallin kalibrointiin sadannan ja valunnan havaintoja vähintään kolmen sadetapahtuman osalta. Sen sijaan Aaltonen et al. (2008) mukaan kunnollinen kalibrointi vaatii

havaintoja vähintään kuuden sadetapahtuman osalta valuma-alueen tärkeimmistä pisteistä. Suomessa taajamien pienvesistöistä ei ole kuitenkaan toistaiseksi jatkuvia virtaama- tai pinnankorkeusmittauksia, joihin voitaisiin turvautua mallin kalibroinnin yhteydessä. Poikkeuksen muodostavat tietyt Espoossa sijaitsevat koalueet, joita ovat käsitelleet diplomitöissään muun muassa Metsäranta (2003), Tiihonen (2007) ja Aaltonen (2008).

Suomen olosuhteissa Espoon koalueet ovat poikkeuksellisen hyvin varustettuja erilaisine mittalaitteineen ja suhteellisen pitkine havaintojaksoineen, mutta niilläkin havaittiin kalibroinnissa ongelmia. Vaikka kalibrointi olisikin onnistuttu tekemään hyvin esimerkiksi kerran 2 vuodessa toistuvalla sadetapahtumalla, edelleenkin ei voida todeta mallin kuvaavan tarkasti poikkeustilanteiden kuten kerran 50 vuodessa toistuvien sadetapahtumien vaikutuksia. Näin ollen, vaikka mittauspisteiden määrää kasvatettaisiin, ei silti välttämättä saada koskaan riittävästi ja riittävän hyviä havaintoja harvoin toistuvista sadetapahtumista.

Smith et al. (2005) tekemässä tutkimuksessa on todettu, että mitatun ja mallinnetun sadetapahtuman hyvä vastaavuus ei takaa hulevesivirtaamien hyvää vastaavuutta. Metsäranta (2003) totesi puolestaan Espoon koalueiden mallien kalibroinnin yhteydessä, että ainoastaan valuntamittauksia vastaan tehty kalibrointi ei takaa muiden vesitaseen komponenttien kuten haihdunnan tai imeynnän oikeellisuutta. Samanlainen laskentatuloksen valunnan suhteen voidaan siis saada täysin vääristyneillä vesitaseen komponenttien osuuksilla, mitä ei voitu havaita ennen kuin laskenta suoritettiin yksittäistä sadetapahtumaa pidemmällä jaksolla. Kalibroinnin epävarmuutta lisää myös se, että poikkeustilanteiden aiheuttamista ilmiöistä valuma-alueilla ja verkostoissa ei ole riittävästi tutkimustietoa ja, että virtaamamittausten tekeminen tulvatilanteissa on epätarkkaa. Näin ollen kalibrointikaan ei välttämättä takaa luotettavia tuloksia poikkeustilanteiden mallinnuksessa.

Kalibrointiin tarvittavan mittausaineiston puute on ilmeinen myös uudisrakentamiskohteissa, joihin hulevesien hallinnan suunnittelukohteet usein liittyvät. Vasta suunnitelman asteella olevilta alueilta ei luonnollisestikaan ole olemassa tulevaa rakennettua tilaa vastaavia mittaustuloksia, joten uudisrakennuskohteissa kalibrointi on jo lähtökohtaisesti mahdotonta. Tällöin mallin parametrit tulee valita kirjallisuuslähteiden perusteella mahdollisimman huolellisesti ja johdonmukaisesti käyttäen suunnittelualuetta vastaavia referenssikohteita.

## 5. HULEVESIMALLIN PARAMETRIEN VALINTA

Taajamien hydrologisten ja hydraulisten ilmiöiden teoreettista taustaa ja käytettäviä laskentamenetelmiä ovat käsitelleet kattavasti diplomitoissään muun muassa Metsäranta (2003) ja Aaltonen (2008). Rankkasadetapahtumia ovat tutkineet Suomessa viime vuosina muun muassa Kilpeläinen (2006), Venäläinen et al. (2007) ja Aaltonen et al. (2008). Päällekkäisyyksien välttämiseksi tähän kappaleeseen on koottu ensisijaisesti hulevesien hallinnan suunnittelun kannalta tärkeimpiä tutkimustuloksia Suomen olosuhteisiin soveltuvista parametreista. Koska näkökulmana on hulevesien hallinnan käytännön suunnittelutyö, laskentaan liittyvät teoreettiset yksityiskohdat ja laskentakaavat on jätetty vähemmälle huomiolle. Asiakokonaisuus on jaettu kahteen osaan: sadetapahtumiin ja valuma-alueiden hydrologisiin ilmiöihin.

### 5.1. Sadetapahtumat

Sadanta käynnistää valuntaprossin ja toimii hulevesimallinnuksessa syötteenä. Sadannan vaikutus hulevesivirtaamiin on varsin suoraviivainen, joten mallinnuksessa käyttävien sateiden tulisi olla valittu oikein perustein ja vastata intensiteetiltään, kestoltaan ja ajalliselta muodoltaan (sateen intensiteetti ajan suhteen) todenmukaisia sadetapahtumia. Perinteisten sademittarien ongelmana on ollut niiden puutteellinen kyky antaa luotettavaa tietoa pienialaisista ja lyhytkestoisista, 10 min – 6 h rankkasateista, koska sademittarien suuresta lukumäärästä huolimatta niiden tiheys on Suomessa vain noin 1/500 km<sup>2</sup>. Sen sijaan vuorokausisadannoista on olemassa hyvin pitkiä sademittarien havaintojaksoja (Kilpeläinen 2006).

Sademittariaineiston puutteista johtuen sadannan mittaamisessa ollaan siirtymässä yhä enemmän säätutkien käyttöön. Säätutkamittaus on hetkellistä aluesadannan mittausta, jolla on perinteiseen sademittariverkkoon verrattuna ylivoimainen alueellinen resoluutio (Kilpeläinen 2006). Tutkamittausten suuri etu onkin, että niillä voidaan havaita ja mitata erittäin pienialaisia, lyhytkestoisia ja harvoin toistuvia rankkasateita. Uusi mittaustieto on hulevesisuunnittelun kannalta merkittävää, koska suurimmat taajamatulvariskit aiheutuvat useimmiten pienialaisista, rajuilmoihin liittyvistä rankkasateista. Esimerkiksi Porissa vuonna 2007 Suomen suurimmat taloudelliset vahingot aiheuttanut rankkasadetulva aiheutui, kun poikkeuksellisen suuri sadanta (jopa 100 mm kolmessa tunnissa) keskittyi vain 5 kilometrin levyiselle vyöhykkeelle (Aaltonen et al. 2008).

Vaikka mittausmenetelmät kehittyvät, tarkkojen alueellisten sateiden määrittäminen on kuitenkin käytännössä mahdotonta. Jokainen sadetapahtuma on yksilöllinen ja sateen intensiteetit vaihtelevat suuresti jo tarkasteltavan valuma-alueen

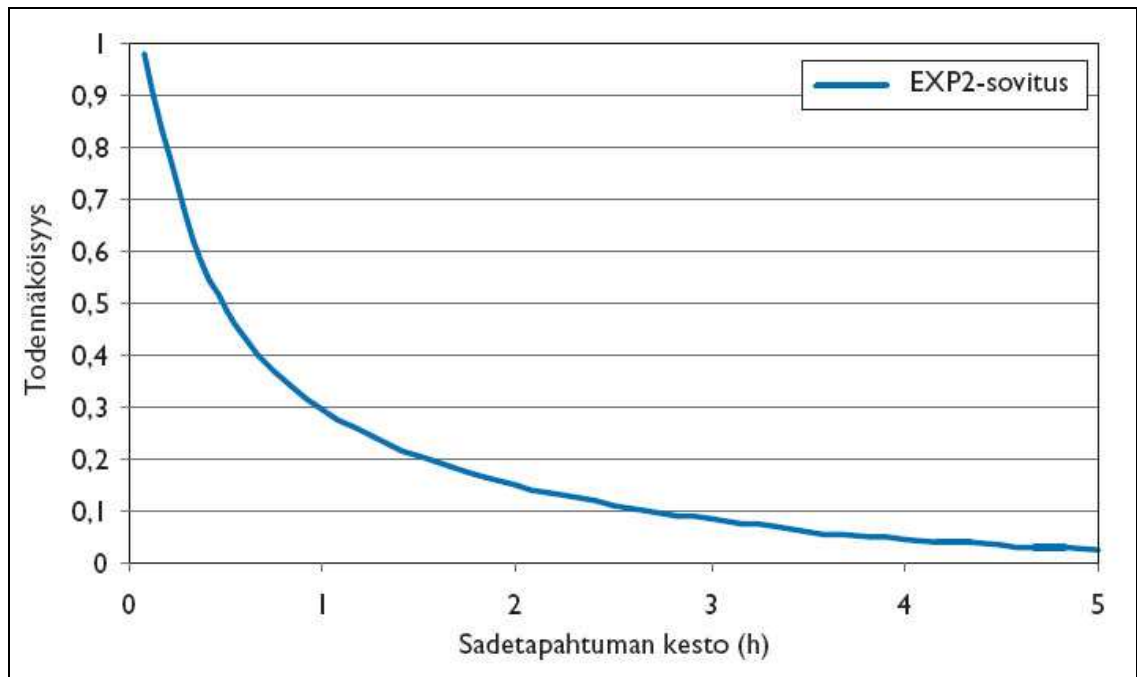
sisällä. Suurista alueellisista vaihteluista aiheutuvista epätarkkuuksista johtuen näennäisen tarkkojen alueellisten sateiden määrittäminen ei usein tuokaan todellista lisäarvoa hulevesien hallintajärjestelmien suunnitteluun tähtäävään mallinnukseen. Mallinnuksessa käytettävät sateet tuleekin valita siten, että ne ovat suuruusluokaltaan ja kestoltaan mitoitustilanteen kannalta oikein valitut ja kuvaavat muodoltaan vähintään karkealla tasolla luonnossa, samalla alueella esiintyviä sateita. Sateiden intensiteettiä ja muotoa valittaessa tulee käyttää kotimaisia lähteitä kuten RATU-hanketta (Aaltonen et al. 2008), koska niiden havainnot perustuvat Suomen todellisiin ilmasto-olosuhteisiin ja viimeisimpään analysoituun aineistoon.

### 5.1.1. Rankkasateiden esiintyminen

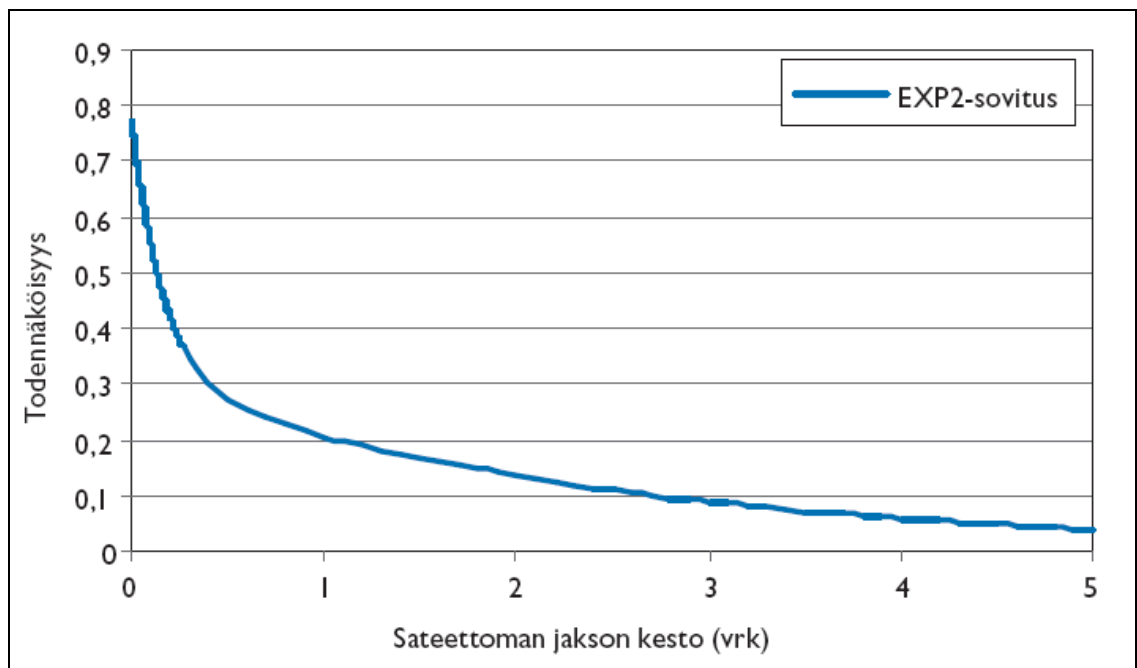
Suomessa runsaimmat sateet esiintyvät kesäisin, jolloin ilma on lämmintä ja voi sisältää paljon kosteutta (Liljequist 1962). Pitkiltä havaintojaksoilta tehtyjen tilastojen perusteella muun muassa Simojoki (1966) ja Uppala (1978) ovat todenneet kesä-, heinä-, elo- ja syyskuun olevan vuoden sateisimmat kuukaudet kuukausisademäärien perusteella. Helsingin Kaisaniemen sademittariaineistoa vuosilta 1951–2000 analysoinut Kilpeläinen (2006) on havainnut, että kesäkuukausien sadannoilla on omat erityispiirteensä. Toukokuussa sateet ovat intensiteetiltään heikkoja ja pitkäkestoisia. Kesäkuussa konvektiivisten kuurosateiden yleistyessä sateet muuttuvat rankemmiksi ja kestoltaan lyhyemmiksi. Heinä- ja elokuussa sateet ovat tyypillisesti rankkoja ja lyhytkestoisia. Erityisesti elokuussa sataa tyypillisesti kerralla paljon ja sateet ovat lyhytkestoisia. Sademäärän ja intensiteetin vuorokausivaihtelut ovat elokuussa suurimmat lämpimän meren vaikutuksesta. Syyskuussa sadetapahtumien lukumäärä ja sateen osuus kokonaisajasta ovat suurimmat, mutta intensiteetin vuorokausivaihtelu on vähäistä. Tyypillisesti syyskuussa sateet ovat pitkäkestoisia ja tasaisia läpi vuorokauden. Sateettomien jaksojen keston keskihajonta on ollut Kaisaniemessä suurta 50 vuoden havaintojakson aikana, mutta trendinä on ollut kuitenkin sateettomien jaksojen selvä lyheneminen toukokuulta kohti syyskuuta.

Meteorologisesta näkökulmasta sadetapahtumat voidaan käsitellä erillisinä jos niiden väliin jää lyhyt, muutamankin minuutin sateeton jakso. Tätä perustetta käytettiin Kilpeläisen (2006) sadeaineiston analyysissä, vaikka samalla todettiin, että vesiteknisessä mielessä vähintään tunnin sateeton jakso olisi parempi sadetapahtumien erottamiseen, koska tällöin maasto ehtii tauon aikana hieman kuivua. Aaltonen et al. (2008) on todennut Helsingin Kaisaniemen sadeaineiston perusteella, että tilastollisesti sadetapahtumien ja niiden väliin jäävien sateettomien jaksojen kestoja voidaan kuvata hyvin käyttämällä kahden eksponenttijakauman summaa. *Kuvasta 4* nähdään, että lyhytkestoiset sadetapahtumat ovat selvästi yleisempiä kuin pitkäkestoiset ja vain puolet sadetapahtumista kestää yli puoli tuntia. *Kuvassa 5* on esitetty vastaavalla menetelmällä sadetapahtumien väliin jäävien sateettomien jaksojen kestoajan kertymätodennäköisyys. Sateettomat jaksot ovat suurelta osin lyhyitä – noin puolessa tapauksissa alle 3 tuntia, mikä osaltaan todistaa sateiden esiintymisen ryppäinä. On siis selvästi todennäköistä,

että yksittäisen mittauspisteen ylittää useita peräkkäisiä sadekuuroja kuin yksittäinen sadekuuro tai yksi täysin yhtenäinen sadealue. (Aaltonen et al. 2008)



**Kuva 4.** Sadetapahtuman kestoajan kertymätodennäköisyys Helsingin Kaisaniemessä kahden eksponenttijakauman summaan perustuen. (Aaltonen et al., 2008, perustuen: Kilpeläinen 2006)



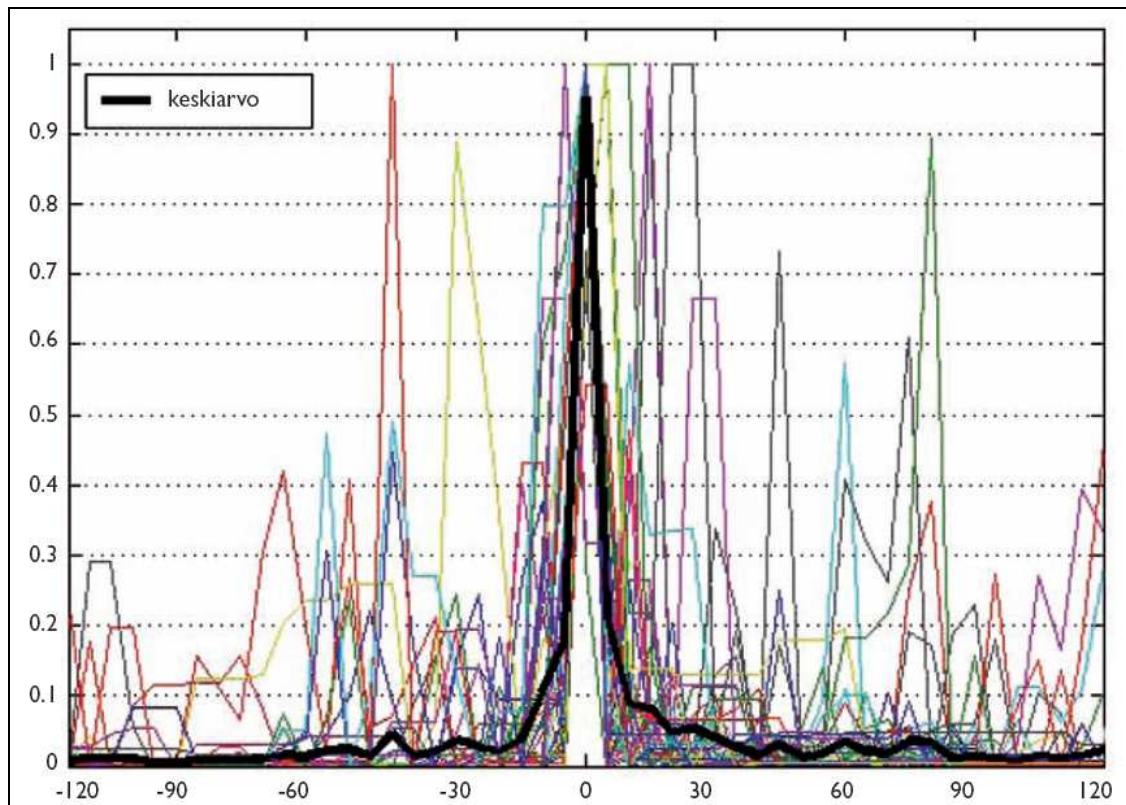
**Kuva 5.** Sateettoman jakson kestoajan kertymätodennäköisyys Helsingin Kaisaniemessä kahden eksponenttijakauman summaan perustuen. (Aaltonen et al., 2008, perustuen: Kilpeläinen 2006)

Havainnot kesäkuukausien sadetapahtumien ominaispiirteistä sekä tilastotiedot sadetapahtumien ja sateettomien jaksoiden kestoista ovat hulevesisuunnittelun kannalta arvokkaita. Sadetapahtumien perusteella hulevesijärjestelmien mitoitustilanne kannattaa

sijoittaa loppukesään, jolloin lyhytkestoisten intensiteetiltään suurien rankkasateiden esiintymistodennäköisyys on suurin ja myös sateettomien jaksojen kesto on lyhimmillään. Tällöin voidaan perustellusti olettaa läpäisemättömien pintojen ja maaperän pintakerroksen olevan kosteat jo ennen varsinaisen mitoitussateen esiintymistä. Muussa tapauksessa malli voi aliarvioida muodostuvien hulevesien määrän (Smith et al. 2005).

### 5.1.2. Rankkasateiden ajallinen muoto

Yksittäisessä pistemittauksessa sateen ajallinen muoto on jakautunut täysin satunnaisesti johtuen sadannan satunnaisesta luonteesta. Lisäksi satunnaisuutta lisää sadealueen satunnainen liike mittauspisteen yli. Ennen Kilpeläisen (2006) tekemää tutkimusta Suomessa ei ole tutkittu sateen ajallista muotoa. Myös ulkomailla tutkimus on ollut varsin vähäistä ennen viimevuosia. Hulevesisuunnittelun kannalta kiinnostavin Kilpeläisen tutkimustulos on Helsingin Kaisaniemessä 50 vuoden aikana havaittujen 56 hetkellisesti rankimman sateen ajallisen muoto, joka on esitetty *kuvassa 6*.

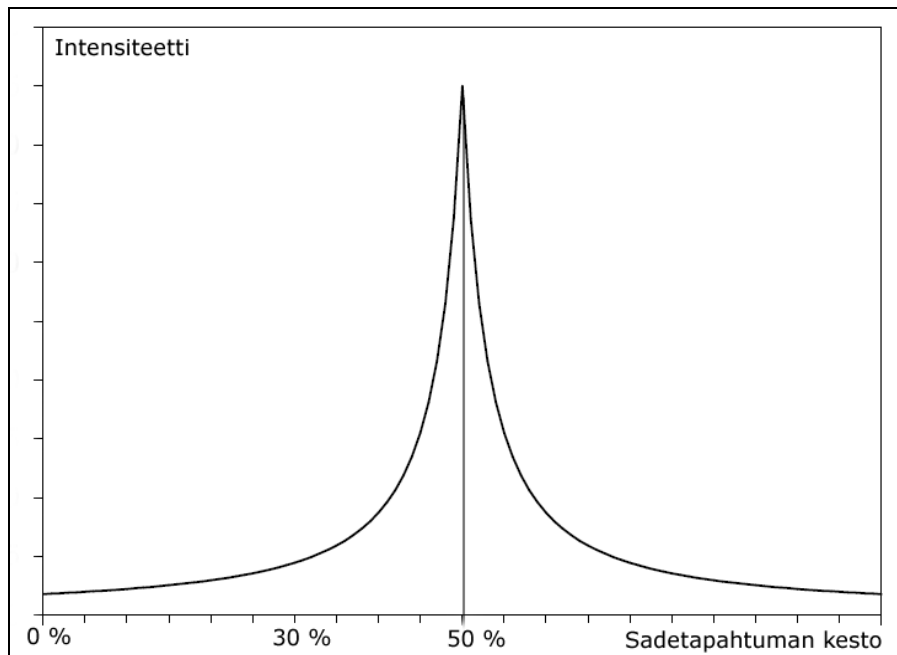


**Kuva 6.** Helsingin Kaisaniemessä 50 vuoden aikana havaittujen 56 rankimman sateen suhteellinen ajallinen jakauma. Mustalla viivalla on kuvassa esitetty näistä laskettu keskiarvokäyrä. Vaaka-akseli kuvaa aikaa minuutteina siten, että hetkellä 0 esiintyy sadetapahtumien keskiarvokäyrän huippuintensiteetti (Kilpeläinen, 2006).

Vaikka Kilpeläisen (2006) tutkimuksissa yksittäisten sadetapahtumien ajalliset muodot vaihtelivat suuresti, niistä havaittiin silti selviä rankkasateille ominaisia piirteitä. Tyypillisesti ennen rankinta intensiteettihiippua (päämaksimi) tai sen jälkeen esiintyy muita lähes yhtä voimakkaita maksimeita. Useimmiten muut maksimit

esiintyivät 5–30 minuuttia päämaksimin jälkeen. Melko yleisesti havaittiin päämaksimia edeltävän tai seuraavan jakso, jonka intensiteetti on vain murto-osa päämaksimista. Keskiarvojen perusteella intensiteetin havaittiin alkavan kasvaa hiljalleen noin 30 minuuttia ennen päämaksimia ja kasvun nopeutuvan selvästi noin 15 minuuttia ennen huippuintensiteetin saavuttamista. Huippuintensiteetin jälkeen sateen intensiteetti laskee heti nopeasti ja lasku jatkuu tasaisesti hidastuen seuraavat 20 minuuttia. Keskimäärin sateen intensiteetti on hieman korkeampi intensiteettihiipun jälkeen kuin sitä ennen.. (Kilpeläinen 2006)

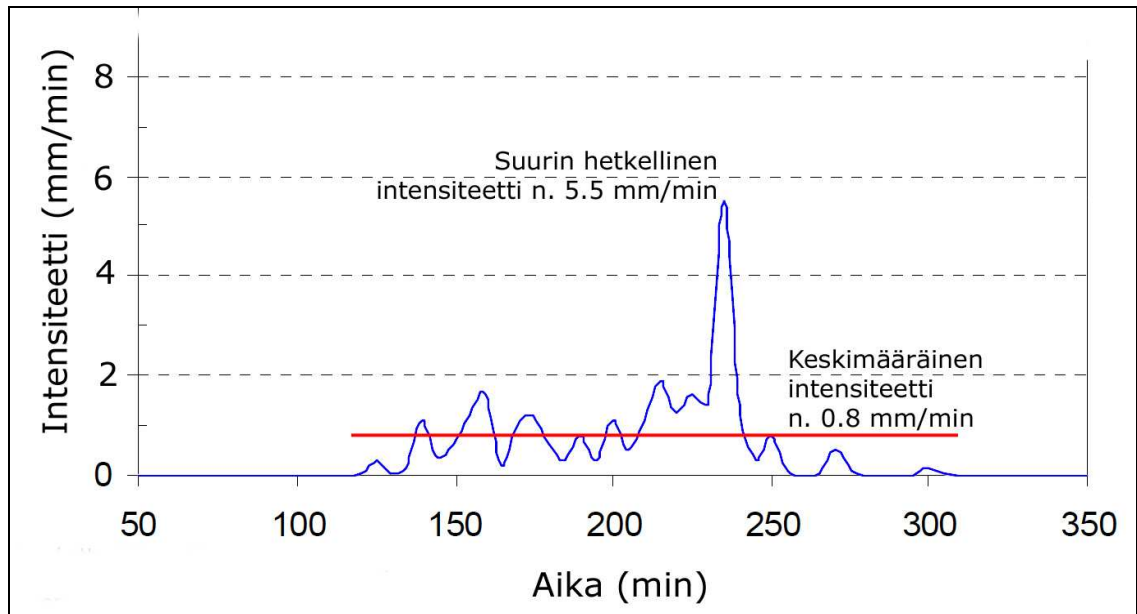
Edellä esitettyjen tutkimustulosten perusteella voidaan todeta, että sateen intensiteetti muuttuu ajan suhteen rankkasateiden sisällä niin merkittävästi, että se tulee ottaa huomioon tarkasteluissa. Nykyiset mallinnusohjelmistot mahdollistavat muuttuvan intensiteetin sateiden helpon käytön, joten monimutkaista laskentaa ei voida enää pitää esteenä niiden käytölle. Eräs hyväksi todettu sateen intensiteetin ajallista vaihtelua kuvaava synteettinen jakauma on Keifer ja Chu (1957) kehittämä niin kutsuttu Chicago Design Storm (CDS-sade). Tavoitteena jakauman luomisessa oli kehittää sellainen sadetapahtuma, joka synnyttäisi ennen huippuintensiteetin esiintymistä sellaiset kosteusolosuhteet, että pintavalunta olisi huippuintensiteetin hetkellä suurimmillaan. CDS-sateen keskimääräinen intensiteetti on sama kuin vastaavan kestoisessa tasaisen intensiteetin sateessa, mutta intensiteetti muodostaa selvän hiipun sadetapahtuman keskivaiheilla. CDS-sateen jakauma soveltuu kaikkien sadetapahtumien määrittelyyn niiden kestosta tai toistuvuudesta riippumatta edellyttäen, että jakauma on ensin sovitettu perinteisten intensiteetti-toistuvuus-käyrien perusteella kohdemaan olosuhteisiin (Stephenson 1981). Esimerkki CDS-sateen muodosta on esitetty *kuvassa 7*, minkä perusteella todetaan CDS-sateen muodon vastaavan varsin hyvin edellä, *kuvassa 6* esitettyä Kaisaniemen rankimpien sateiden keskiarvokäyrää.



**Kuva 7.** Esimerkki CDS-sateen suhteellisesta ajallisesta jakaumasta. (muokattu lähteestä: Spildevandskomiteen 2008).



Sateen todellinen ajallinen muoto kuitenkin vaihtelee aina sadetapahtumasta toiseen ja CDS-sadekin on vain karkea yleistys rankkasateen muodosta. Epävarmuuksista huolimatta CDS-sade kuvaa silti rankkasadetta huomattavasti paremmin kuin perinteinen keskimääräisen intensiteetin tasainen sade. Esimerkiksi Porissa vuonna 2007 tapahtunut rankkasadetulva aiheutui sadetapahtumasta, joka vastaa varsin hyvin Kilpeläisen (2006) esittämiä rankkasateiden ajallisen muodon ominaispiirteitä. Porin rankkasadetulvan aiheuttaneen sadetapahtuman ajallinen muoto tutkimustulosten perusteella on esitetty kuvassa 8.



**Kuva 8.** Porin rankkasadetulvan vuonna 2007 aiheuttanut sadetapahtuma tutkahavaintojen perusteella. (muokattu lähteestä: Aaltonen et al. 2008)

CDS-sateen etuna on, että se vastaa sademäärältään vastaavan kestoista tasaisen intensiteetin sadetta, mutta sen sisällä esiintyy silti lyhytkestoinen rankkasade samalla toistuvuudella. Tämä on suunnittelun kannalta hyvä ominaisuus, koska tällöin sama sadetapahtuma voi aiheuttaa sekä viivytystilavuuden mitoittavan tilanteen että suurimman huippuvirtaaman. Näin ollen CDS-sateella saadaan verkoston ja hulevesien hallintajärjestelmien ongelmakohdat esille paremmin ja pienemmällä työmäärällä kuin perinteisillä tasaisen intensiteetin sateilla. Erityisesti CDS-sateiden hyöty korostuu taajama- ja kaupunkialueiden mallinnuksessa, koska valuma-alueet sisältävät paljon läpäisemätöntä pintaa ja sadevesiviemäroityjä alueita, joilla valuma-alueiden kertymisajat jäävät lyhyiksi. Tällöin intensiteettihiipputen aiheuttamat virtaamahuiput kulkeutuvat verkostossa nopeasti eteenpäin ja voivat aiheuttaa pahoja hetkellisiä tulvatilanteita verkoston solmupisteissä. Jos käytettäisiin tasaista keskimääräisen intensiteetin sadetta, nämä virtaamahuiput jäisivät havaitsematta. Onkin tärkeä huomata, että CDS-sateen erot tasaisen intensiteetin sateisiin ilmenevät nimenomaan hetkellisissä huippuvirtaamissa. Sen sijaan yhtä suurista sademääristä johtuen muun muassa altain viivytystilavuuksissa erot jäävät suhteellisen pieniksi.

### 5.1.3. Rankkasateiden intensiteetit

Suomessa mitoitussateet ovat perustuneet sademäärään tietyssä ajassa eli sateen keskimääräiseen intensiteettiin. Jotta sadetapahtuman sademäärä olisi merkittävä, tulee lyhytkestoisen sateen intensiteetin olla hyvin korkea. Sen sijaan pitkäkestoisen rankan sateen intensiteetti on huomattavasti alhaisempi. On kuitenkin tärkeä huomata, että intensiteetin ajallisista muutoksista johtuen sadetapahtuman sisällä voi hetkellisesti sataa rankasti, vaikka kokonaisuudessaan sadetapahtumaa ei luokitella rankaksi (Kilpeläinen 2006).

Suomessa infrastruktuurin suunnittelussa ja rakentamisessa on käytetty viimevuosiin asti pääosin vanhoja, Katajiston (1969) tekemään tutkimukseen perustuvia sadetietoja. Vuonna 2006 valmistunut Kilpeläisen (2006) sadanta-aineiston tutkimus ja vuonna 2008 päättynyt RATU-hanke (Aaltonen et al. 2008) viimein päivittivät Suomen olosuhteissa pätevät rankkasateiden toistuvuusjakaumat. Päivityksessä käytettiin Helsingin Kaisaniemen mittausasemalla vuosilta 1951–2000 kerättyä, Kilpeläisen (2006) analysoimaa piirtävän sademittari aineistoa. Lisäksi selvitettiin lyhytkestoisten rankkasateiden esiintymistodennäköisyyksiä tutkahavaintojen perusteella ensimmäistä kertaa Suomessa. RATU-hankkeen loppuraportissa esitettiin uudet Suomen olosuhteisiin perustuvat rankkasadejakaumat kahden minuutin pistehavainnoille sekä 1, 9, 100 ja 1024 km<sup>2</sup> aluesadannoille. Hulevesien hallinnan suunnittelun kannalta erityisen kiinnostavia tuloksia ovat määritetyt 1 km<sup>2</sup> ja 9 km<sup>2</sup> aluesadannat, koska taajamien suurimmat hulevesiongelmät aiheutuvat tyypillisesti nimenomaan poikkeuksellisista, lyhytkestoisista ja pienialaisista rankkasateista, jotka liittyvät alle 10 km<sup>2</sup> laajuisiin rajuilmoihin (Aaltonen et al. 2008).

Aluesadantoja käytettäessä tulee huomioida, että pienialaisten aluesadantojen intensiteetit ovat selvästi suurempia kuin laajempien aluesadantojen. Jos tarkastelua tehdään koko valuma-alueen laajuudella, käytettävä aluesadanta valitaan ensisijaisesti valuma-alueen koon perusteella. Kuitenkin jos valuma-alue ei ole homogeeninen, mikä pätee useimpiin urbaaneihin valuma-alueisiin, tulee aluesadannan koko valita harkiten. Tärkeintä on huomioida mitä tarkastelussa halutaan tutkia. Jos valuma-alue sisältää selvän tiiviisti rakennetun keskittymän muiden alueiden jäädessä väljästi rakennetuiksi, tulee harkita sadetapahtuman valintaa tiiviisti rakennetun alueen laajuuden perusteella, koska lyhyissä rankkasadetilanteissa hulevedet muodostuvat lähes pelkästään tältä alueelta.

Pienellä alueella sateen hetkellisen intensiteetin kannalta on ratkaisevaa miten rankkasateen keskus liikkuu valuma-alueella. Pahin tilanne aiheutuu tyypillisesti silloin jos ensin sataa kohtuullisesti, läpäisemättömät pinnat ja maaperä kastuvat ja vasta sitten sateen keskus osuu alueelle kovalla intensiteetillä. Tällöin pintavalunnan muodostuminen on suurimmillaan. Nimenomaan tämän kaltaisten tilanteiden kuvaamiseen on kehitetty *kappaleessa 5.1.2* mainittu *Chicago Design Storm*. Hyvä esimerkki sateen paikallisuudesta ja sateen keskuksen liikkeiden merkityksestä on Porin rankkasadetulva vuonna 2007. Siinä suurin pistesadanta, jopa yli 100 millimetriä

kolmen tunnin aikana, keskittyi vain muutaman kilometrin levyiselle vyöhykkeelle (Aaltonen et al. 2008). Lisäksi rankkasateen keskus liikkui valuma-alueen päällä siten, että ensin satoi rankasti valuma-alueen latvoilla ja tämän jälkeen valuma-alueen alaosissa, Porin kaupungin keskustassa (Porin kaupunkikonserni 2008).

#### 5.1.4. Ilmastomuutoksen vaikutukset

RATU-hankkeessa (Aaltonen et al. 2008) arvioitiin useisiin kansainvälisiin ilmastomuutosennusteisiin perustuen ilmastomuutoksen vaikutuksia Suomen sadantaan ja rankkasadetilanteisiin. Vaikka eri ilmastomallien tulokset eroavat toisistaan ja ne sisältävät suuria epävarmuuksia, mallit ovat yksimielisiä muutoksen suunnasta Pohjois-Euroopassa. Tutkimustulosten mukaan Pohjois-Euroopassa keskimääräiset sademäärät kasvavat, mutta myös rankkasateet voimistuvat ja yleistyvät (Christensen et al. 2007). Muutoksen suuruus on kuitenkin vaikeasti arvioitavissa, koska sademäärät vaihtelevat jo luontaisesti paljon ja pitkäaikaisia muutoksia on vaikea havaita satunnaisvaihtelun joukosta (Jylhä et al. 2004). Malliarvioiden perusteella todettiin, että Suomessa talvisateet runsastuvat kesäsateita enemmän, mutta tästä huolimatta kesäkuukaudet säilyvät sateisempina kuin talvikuukaudet. Koska hulevesijärjestelmät mitoitetaan kesäisten rankkasateiden perusteella, jatkossa keskitytään käsittelemään ilmastomuutoksen vaikutuksia niihin.

Aaltonen et al. (2008) esittää RATU-hankkeen loppuraportissa, sen hetkiseen parhaimpaan tietoon nojautuen arvion, että touko–syyskuun sademäärät kasvavat Suomessa keskimäärin 10–15 % vuosiin 2071–2100 mennessä. Samansuuntaisiin tuloksiin ovat päätyneet myös Räisänen & Ruokolainen (2006). Kesän sademäärä kasvaisi ennusteiden mukaan siis varsin maltillisesti, mutta hulevesijärjestelmien suunnittelun kannalta onkin olennaisempaa ennustettu kesän rankkasateiden selvä voimistuminen, vaikka kesän kokonaissademäärä ei juuri muuttuisikaan. RATU-hankkeessa tutkittujen mallien perusteella arvioidaan, että vuosiin 2071–2100 mennessä Suomen rankimpien vuorokausisateiden sademäärät kasvavat keskimäärin noin 10–30 % ja rankimpien kuuden tunnin sateiden sademäärät samansuuntaisesti, noin 15–40 %. Hulevesisuunnittelussa tarvittaisiin arvioita myös tätä lyhyempien sadetapahtumien sademäärien ja etenkin hetkellisten intensiteettien muutoksista, mutta luotettavia ennusteita näistä ei ole vielä voitu tehdä. Aaltonen et al. (2008) teki kuitenkin malliarvioihin perustuen oletuksen, että kaikki hetkelliset intensiteetit kasvavat ja, että voimakkaat intensiteetit kasvavat enemmän kuin heikot. Tämän perusteella tutkimuksessa käytettiin oletusta rankkasateiden intensiteetin keskimääräisestä 20 % kasvusta vuosisadan viimeiseen kolmannekseen mennessä. Ilmastomuutoksen ennustetut vaikutukset Suomen kesäsateisiin on esitetty kootusti *taulukossa 3*.

**Taulukko 3.** Ilmastonmuutoksen vaikutukset rankimpiin kesäsateisiin Suomessa vuosiin 2071–2100 mennessä (Aaltonen et al. 2008).

Suure	Kasvu
Touko–syyskuun sademäärä	10–15 %
Rankimmat 24 h sademäärät	10–30 %
Rankimmat 6 h sademäärät	15–40 %
Rankkasateen intensiteetti keskimäärin	20 %

Ilmastonmuutoksen aiheuttamasta sademäärien ja sateen intensiteettien kasvusta johtuen myös sateiden vuosittaista vaihtelua kuvaavat todennäköisyysjakaumat muuttuvat. Tällöin aiemmista sadehavainnoista johdetut sateiden toistuvuuskäyrät eivät enää sellaisenaan kuvaa nykyistä tai tulevaa ilmastoa (Venäläinen et al. 2007). Tällä tarkoitetaan, että esimerkiksi nykyisin kerran viidessä vuodessa esiintyvä sadetapahtuma esiintyykin tulevaisuudessa ilmastonmuutoksen vaikutuksesta kerran kolmessa vuodessa. Nykyiset rankkasateet tulevat näin ollen yleistymään. Aaltonen et al. (2008) on esittänyt, että keskimääräinen 20 % sateen intensiteetin kasvu voidaan huomioida toistuvuuksissa *taulukon 4* mukaisesti.

**Taulukko 4.** Rankkasateiden intensiteettien 20 % kasvun vaikutus sadetapahtuman toistuvuuteen (Aaltonen et al. 2008).

Nykyinen toistuvuus	Tuleva toistuvuus
kerran 3 vuodessa	kerran 2 vuodessa
kerran 5 vuodessa	kerran 3 vuodessa
kerran 10 vuodessa	kerran 5 vuodessa
kerran 25 vuodessa	kerran 10 vuodessa

Vaikka ennusteet ilmastonmuutoksen vaikutuksista paikallisiin rankkasateisiin ovat hyvin epävarmoja, on yleisesti todettu, että rankkasateiden intensiteetin kasvu tulee kasvattamaan hulevesijärjestelmien vahinkoriskiä. Vahinkoriskin kasvu tarkoittaa, että esimerkiksi ennen kerran kymmenessä vuodessa esiintynyt tilanne voikin tulevaisuudessa esiintyä jo kerran viidessä vuodessa. Vahinkoriskin kasvu tuleekin huomioida hulevesijärjestelmien suunnittelussa ja rakenteiden mitoituksessa, käyttämällä nykyisiä harvempia mitoitustoistuvuuksia esimerkiksi *taulukossa 4* esitetyllä tavalla (Aaltonen et al. 2008).

## 5.2. Valuma-alueiden hydrologia

### 5.2.1. Sadannan häviöt

#### *Interseptio*

Interseptiolla (*interception*) tarkoitetaan kasviston pinnoille pidättyvää sadannan osaa, joka ei päädy maan pinnalle. Interseption osuus riippuu voimakkaasti vallitsevista ilmastollisista olosuhteista, sadetapahtuman ajallisesta muodosta ja intensiteetistä sekä kasvillisuuden määrästä ja laadusta (Rutter et al. 1975; Muzylo et al. 2009). Metsäisillä alueilla interseptiolla on suuri merkitys alueen vesitaseeseen. Pohjoisilla leveyksillä tehdyssä tutkimuksessa (Toba & Ohta 2005) todettiin, että interseption osuus sadannasta vaihteli metsäisillä alueilla välillä 15–30 %. Tutkimuksessa todettiin myös, että rankkasadetilanteissa interseption osuus vakiintui noin tasoon 20 % sateen muista parametreista riippumatta. Interseption todettiin riippuvan selvästi enemmän meteorologisista olosuhteista kuin kasviston laadusta. Suomen olosuhteissa interseptiota ei ole kuitenkaan yksityiskohtaisesti tutkittu, joten tuloksiin tulee suhtautua vain suuntaa antavina.

Kaupunkialueilla interseption merkitys on todettu pieneksi, koska kasvillisuutta on suhteellisen vähän (Overton & Meadows 1976, Arnell 1980). Lisäksi rankkasadetilanteissa interseption osuus jää pieneksi, koska puiden lehvästö kastuu nopeasti. Näin ollen kaupunkialueella rankkasadetilanteiden mallinnuksessa interseption aiheuttama häviö voidaan olettaa merkityksettömäksi ja se voidaan sisällyttää muiden häviöiden arvoihin.

#### *Haihdunta*

Haihdunta sisältää lukuisia eri käsitteitä, mutta taajamahydrologiassa käyttökelpoisin on maa-alueen kokonaishaihdunta eli *evapotranspiraatio*. Se muodostuu maa-, lumi- ja vesipinnoilta tapahtuvasta haihdunnasta (evaporaatio) sekä kasvien elintoimintojen kautta tapahtuvasta haihdunnasta (transpiraatio). Yleisesti kaupungistumisen on todettu vähentävän haihduntaa, koska kasvillisuutta on vähemmän ja pinnat pyritään kuivattamaan tehokkaasti. Toisaalta taajamissa haihdunta voi olla myös ympäröiviä alueita suurempaa, koska taajamarakentamisen on todettu aiheuttavan mikroilmastonsa lämpötilan nousua, jota kuvataan lämpösaarekevaikutuksella (*urban heat island*) (Melanen 1986). Rankkasadetilanteissa haihdunta on kuitenkin vähäistä, koska sateen aikana ilma on lähes vedellä kyllästynyt (Hoglund 1986). Kaupunkialueilla rankkasateisiin perustuvissa hulevesimallinnuksissa haihdunnan merkitys on todettu vähäiseksi verrattuna imeynnän ja painannesäilynnän aiheuttamiin häviöihin. Haihdunta voidaan näin olleen sisällyttää muiden häviöiden arvoihin (Becciu & Paloetti 1997; Mc Cuen 2004).

## ***Imeyntä***

Imeynnällä, eli imeytymisellä (*infiltration*), tarkoitetaan veden kulkeutumista maanpinnalta maaperän huokostilavuuteen. Maaperässä nestemäinen vesi esiintyy joko vapaana gravitaatiovetenä tai sitoutuneena maarakeisiin ja niiden väliseen huokostilaan veden pintajännityksen tai molekyyläristen voimien vaikutuksesta. Imeynnän suuruuteen vaikuttavat maaperän ominaisuuksista erityisesti raekoostumus (huokosten määrä ja koko) ja kerrosjärjestys (huokosten yhteys toisiinsa). Myös kasvillisuudella on suuri merkitys, koska kasvien juuret ja niiden ympäristössä viihtyvä eliöstö lisäävät maan kuohkeutta eli näin ollen myös huokoisuutta.

Yksittäisen sadetapahtuman osalta imeyntään vaikuttaa ratkaisevasti maaperän sisältämä kosteus eli se, että onko tyhjää huokostilavuutta käytettävissä. Jos sadetapahtumaa edeltävä kuiva jakso on riittävän pitkä, vesi on suurelta osin poistunut maan pintakerroksesta, jolloin maaperän imeyntäkyky sadetapahtuman alussa on yleensä suhteellisen suuri. Sateen jatkuessa imeytymisnopeus laskee tasoon, jota nimitetään maan imeyntäkapasiteetiksi. Imeyntäkapasiteetti ei riipu maan kosteustilanteesta. (Mc Cuen 2004)

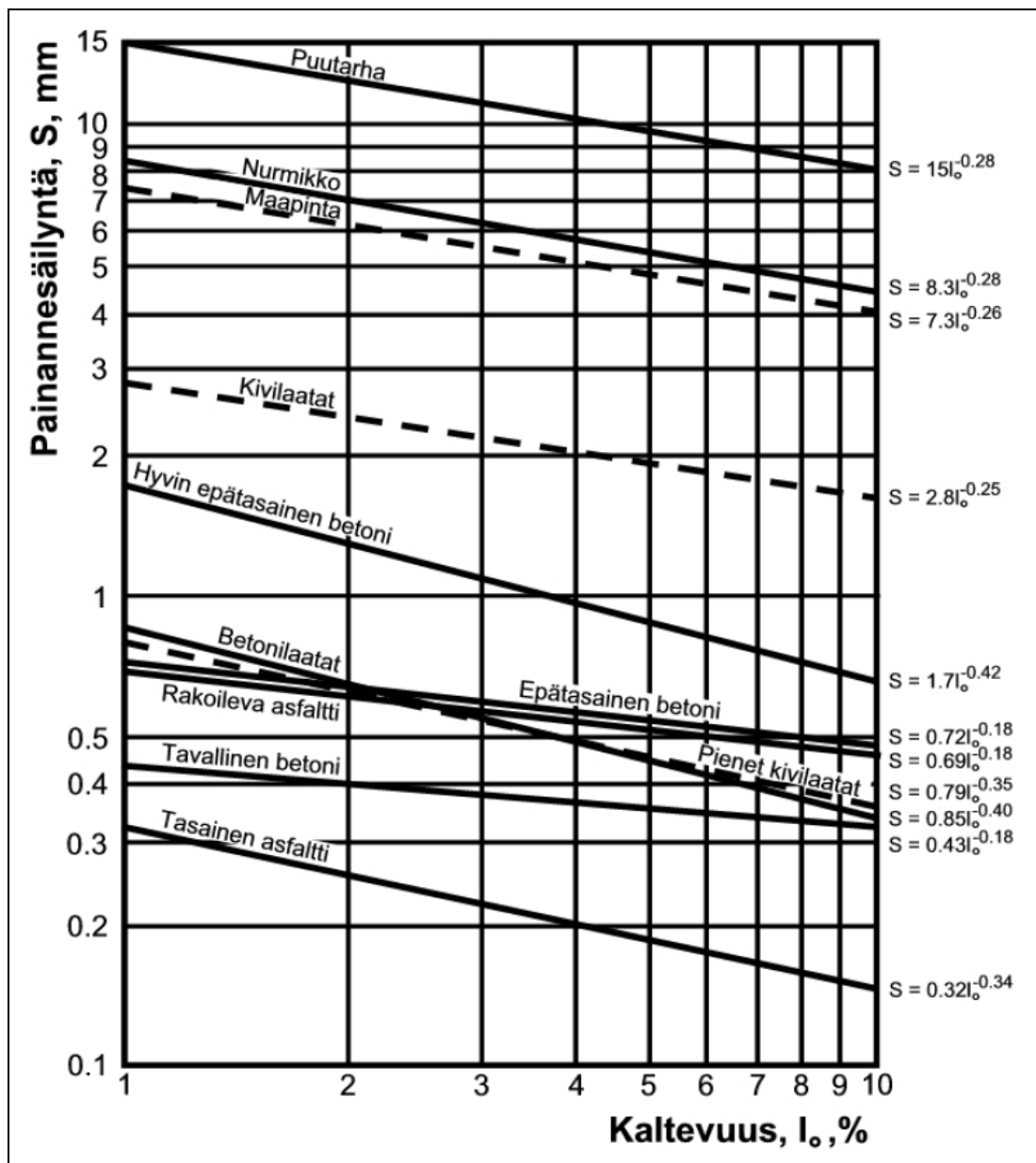
Kaupunkialueilla vähäinen kasvillisuus ja etenkin läpäisemättömien pintojen suuri määrä ja tehokas sadevesiviemärointi vähentävät imeyntää. Rakennetussa ympäristössä myös läpäisevät pinnat ovat usein häirittyjä ja kulutuksen tiivistämiä, jolloin niiden vettä imeyttävät ominaisuudet ovat selvästi luonnonomaisia alueita heikommat. Rankkasadetilanteissa maaperän pintakerros voi lisäksi kyllästyä vedellä, jolloin imeyntää ei käytännössä tapahdu. Myös kuivan maan pintakerros voi sadepisaroiden voimasta tiivistyä siten, että imeyntä jää pieneksi, vaikka vapaata huokostilaa maaperässä olisikin hyvin tarjolla (Mc Cuen 2004).

Edellä mainitut näkökulmat pienentävät imeynnän vaikutusta rakennetun ympäristön rankkasadetilanteissa. Hulevesimäärien kannalta imeynnän vaikutus jää kaupunkiympäristössä vähäiseksi, koska suurin osa hulevesistä muodostuu läpäisemättömiltä asfaltti ja kattopinnoilta, joilla imeyntää ei tapahdu (Schueler 1994). Suunnittelussa jos imeynnän merkitys arvioidaan suureksi, se voidaan käsitellä hulevesimallissa erillisillä laskentakaavoilla. Sen sijaan jos imeyntä oletetaan suhteellisen pieneksi, se voidaan sisällyttää painannesäilynnän arvoon eli valitaan hieman keskimääräistä suurempi painannesäilynnän arvo. Pitkäkestoisessa, esimerkiksi useita viikkoja käsittelevässä taajamahydrologisessa laskennassa imeynnän merkitys kasvaa ja se tulee huomioida yksityiskohtaisemmin, mutta se on rajattu tämän työn ulkopuolelle.

## ***Painannesäilyntä***

Painannesäilyntä (*depression storage*) kuvaa sitä osaa sadannasta, joka lammikoituu maanpinnan tai rakennettujen pintojen painanteisiin eikä muodosta pintavaluntaa (McCuen 2004). Painannesäilynnän ajatellaan koostuvan kahdesta osasta: vesimäärästä,

joka tarvitaan maan pinnan kastelemiseen ja vesimäärästä, joka varsinaisesti lammikoituu. Painannesäilyntä on monivaiheinen prosessi, jossa pintojen kastumisen jälkeen vesi alkaa lammikoitua, jos sateen intensiteetti ylittää maaperän tai läpäisevän päällysteen imeyntäkapasiteetin. Lammikoitumisessa ensin täyttyvät pienimmän painanteet ja näiden täyttyttyä vesi virtaa suurempiin painanteisiin. Lopulta osa vedestä päätyy sadevesiviemäriverkkoon tai avo-ojaan muodostaen tehokasta pintavaluntaa valuma-alueen purkupisteessä. Painannesäilyntävarastoon jäänyt vesi tyhjenee vain imeytymällä maaperään tai haihtumalla. Painannesäilyntän suuruus riippuu pintamateriaalista, sen kunnosta sekä pinnan kaltevuudesta. (Linsey et al. 1975). Rakennettujen pintojen painannesäilyntän suuruuden arvioinnissa voidaan hyödyntää kuvassa 9 esitettyä nomogrammia (Arnell 1980, Metsäranta 2003 mukaan).



**Kuva 9.** Painannesäilyntän suuruuden riippuvuus pintamateriaalista ja pinnan kaltevuudesta. (Arnell 1980, Metsäranta 2003 mukaan)

*Kuvassa 9* esitetyn nomogrammin käyttö edellyttää, että tarkasteltavan valuma-alueen pintatyyppit määritetään oikein (Metsäranta 2003). Lisäksi tulee huomioida, että nomogrammi kuvaa vain pintojen kastumisesta ja lammikoitumisesta johtuvaa häviötä, joten interseption vaikutus tulee tarvittaessa huomioida tämä lisäksi.

Englanninkielisessä kirjallisuudessa painannesäilyntää kuvataan myös muilla termeillä, kuten *surface detention* ja *surface retention*, joiden merkitys eroaa varsinaisesta painannesäilynnästä (*depression storage*). Ensin mainitulla tarkoitetaan vain pintojen kastumisesta aiheutuvaan häviötä ja toisella taas laajempaa häviötä, johon kuuluvat myös interseptio ja haihdunta (Linsey et al. 1975). Näille ei ole Suomessa kuitenkaan yleisesti käytettyjä käännöksiä, vaan ilmiötä kokonaisuudessa kuvataan painannesäilynnän käsitteellä (Metsäranta 2003).

Painannesäilyntä syötetään EPA:n SWMM-malliin kullekin pienvaluma-alueelle ominaisena vakioarvona, joka sisältää pintojen kastumisesta, lammikoitumisesta ja interseptiosta aiheutuvan kokonaishäviön millimetreinä (Rossman 2009). Näin ollen ohjelmassa käsitellään itse asiassa edellä mainittua *surface retention* -käsitettä, vaikka terminä onkin käytössä *depression storage*. Tämä on vain yksi esimerkki termistön epäselvyydestä ja vaihtelevasta käytöstä. Suunnittelussa painannesäilynnän lähtöarvoja määritettäessä tuleekin kiinnittää huomiota siihen, mitä häviöitä lähdekirjallisuuden lukuarvot sisältävät.

Edeltävistä sadetapahtumista johtuen maaperän pintakerros ja rakennetut pinnat voivat olla jo valmiiksi kosteita rankkasadetapahtuman alussa, mikä pienentää merkittävästi sadannan alkuhäviöitä, kuten painannesäilyntää. Smith et al. (2005) totesivat tutkimuksessaan, että rankkasadetapahtumaa edeltävästä sateisesta jaksosta johtuen läpäisevienkin pintojen imeyntä ja painannesäilyntä jäivät alhaisiksi. Tämä johti siihen, että pintavaluntaa muodostui oletettua enemmän myös läpäiseviltä pinnoilta, mikä aiheutti valumareiteillä mitattujen hulevesivirtaamien merkittävää kasvua. Myös Nix (1994) on todennut, että rankkasadetta edeltävistä olosuhteista riippuen valuntatapahtuma voi kiihtyä selvästi. Esimerkiksi kerran kahdessa vuodessa toistuva sadetapahtuma voi aiheuttaa kerran viidessä tai kymmenessä vuodessa toistuvan valuntatapahtuman, jos maaperä on jo valmiiksi kostea (Nix 1994).

### 5.2.2. Läpäisemättömän pinnan määrä

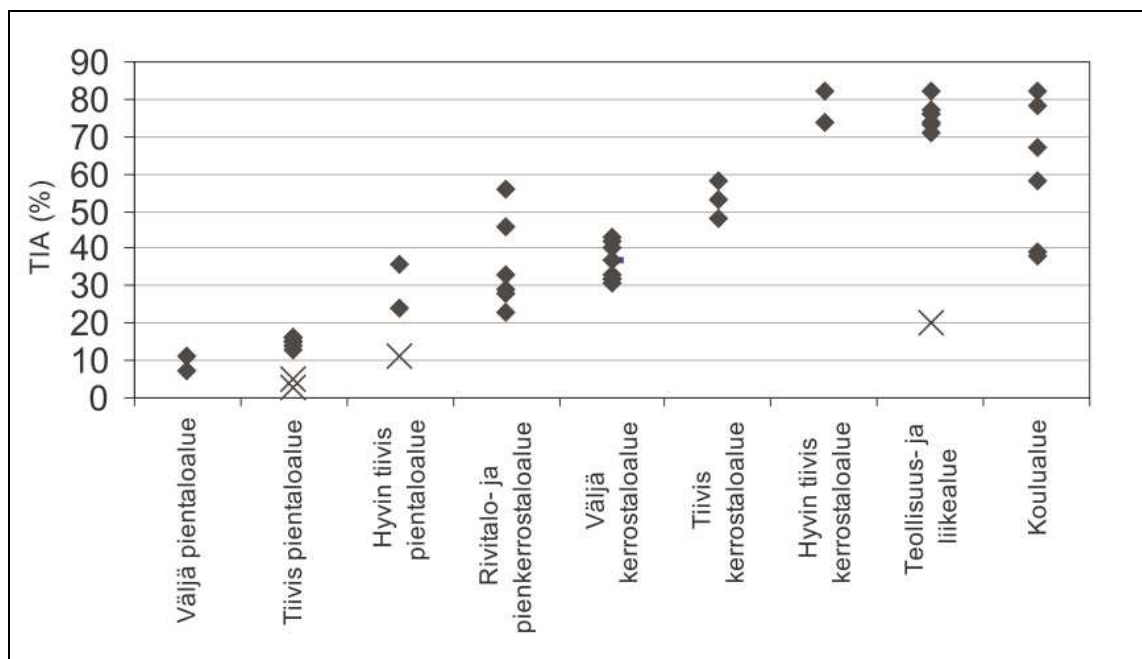
Läpäisemättömien pintojen osuus valuma-alueen pinta-alasta on merkittävin tekijä, joka vaikuttaa muodostuvien hulevesien määrän ja hulevesivirtaamiin. Läpäisemättömät pinnat toimivat hyvänä indikaattorina myös siinä mielessä, että niiden määrä on suhteellisen yksinkertaisesti määritettävissä (Schueler 1994). Määritys voidaan tehdä esimerkiksi tietokantojen, ilmakuvien tai karttatarkastelujen perusteella. Läpäisemättömiä pintoja kuvataan tyypillisesti kolmella käsitteellä *taulukon 5* mukaisesti:



**Taulukko 5.** Lämpäisemättömistä pinnoista käytetyt termit. (Carter & Jackson 2006)

Termi	Lyhenne	Merkitys
Total Impervious Area	TIA	Lämpäisemättömien pintojen kokonaismäärä
Effective Impervious Area	EIA	Tehokas lämpäisemätön pinta = suoraan kuivatusjärjestelmään yhteydessä olevat lämpäisemättömät pinnat
Rooftop Impervious Area	RIA	Lämpäisemättömät kattopinnat

Lämpäisemättömien pintojen kokonaismäärä (TIA) on *taulukossa 5* esitetyistä termeistä eniten käytetty. Sillä kuvataan kaikkien lämpäisemättömien pintojen yhteistä osuutta valuma-alueen pinta-alasta. Lämpäisemättömien pintojen määrän laskeminen karkealla tasolla on yksinkertaista, mutta käytännössä sen tarkka määrittäminen on hankalaa etenkin valuma-alueen pinta-alan kasvaessa. Osana RYVE-projektia Kuusisto (2002) määrittä suomalaisilta taajamavaluma-alueilta ilmakuvien digitoinnin perusteella erilaisten maankäyttötyyppien TIA-arvoja. Tutkimuksen tuloksia on esitetty *kuvassa 10*.

**Kuva 10.** Kuusiston (2002) ilmakuvista digitoidut lämpäisemättömän pinnan osuudet maankäyttöluokittain. Rastit kuvaavat 1930–1950-lukuja ja ruudut vuotta 2001.

*Kuvasta 10* nähdään, että eri maankäyttötyyppien kesken erot TIA-arvoissa ovat hyvin suuria, mutta myös maankäyttötyypin sisällä vaihtelu on merkittävää. Valuma-alueetasolla lämpäisemättömien pintojen kokonaismäärään vaikuttaa eniten teollisuusalueiden esiintyminen ja laajuus, koska niillä katto ja asfalttipinnat ovat tyypillisesti hyvin suuria. Tiiviillä kerrostaloalueilla lämpäisemättömän pinnan osuudet voivat olla teollisuusalueiden luokkaa, mutta kerrostaloalueiden pienialaisuudesta johtuen niiden vaikutus kokonaisuuteen jää pienemmäksi. (Kuusisto 2002)

TIA-arvon määrittäminen vaikeutuu entisestään jos käsitellään poikkeuksellisia rankkasadetilanteita, koska tällöin myös läpäiseviltä pinnoilta muodostuu välitöntä pintavaluntaa (Nix 1994; Smith et al. 2005). Läpäiseviltä pinnoilta muodostuvan pintavalunnan määrää ja samalla näiden teoreettista TIA-arvoa voidaan arvioida kirjallisuudessa esitettyjen valumakertoimien (pintavalunnan osuus sadannasta) perusteella. Se ei ole kuitenkaan alkuunkaan yksiselitteistä, koska erilaisten läpäisevien pintojen valumakertoimet vaihtelevat suuresti ja ne riippuvat olennaisesti edeltävistä maaperän kosteusolosuhteista, sadetapahtuman parametreista, topografiasta ja maaperän laadusta. Keskimääräinen valumakertoimen arvo voi myös poiketa suuresti yksittäisen sadetapahtuman valumakertoimesta, joten kertoimien yleistämisessä ja käytössä tulee olla varovainen.

TIA-arvon heikkoutena on, että osa läpäisemättömistä pinnoista johtaa vedet läpäiseville pinnoille, jolloin muodostunutta pintavaluntaa imeytyy maaperään tai pidättyy maanpinnan painanteisiin. Sen sijaan tehokkaan läpäisemättömän pinnan (EIA) osuus sisältää vain kuivatusjärjestelmään kuten sadevesiviemäriverkkoon tai ojastoon suorassa hydraulisessa yhteydessä olevat läpäisemättömät pinnat. Näin ollen EIA-arvoa pidetään toisinaan TIA:ta parempana hydrologisena indikaattorina. EIA:n määrittäminen on kuitenkin käytännössä hyvin hankalaa, joten sen arvioinnissa on tyydyttävä usein vain sadevesiviemäriverkon laajuuden arviointiin tai empiirisiin kaavoihin (Kuusisto 2002).

Helpoiten määritettävissä on läpäisemättömien kattopintojen määrä (RIA). Kattopinnoilla on suuri merkitys hulevesien muodostumiseen, koska kaltevilla katoilla alkuhäviöt ovat hyvin pienet ja niiltä vedet johtuvat nopeasti eteenpäin. Kattopintojen määrän laskennassa tulisi kuitenkin ottaa huomioon, mitkä kattopinnat ovat suorassa yhteydessä kuivatusjärjestelmään eli lukeutuvat EIA osuuteen. Kattopintojen osuus TIA-arvosta on suurin omakotitaloalueilla, joilla on vähän muita läpäisemättömiä pintoja. Näillä alueilla kattovesiä ei kuitenkaan tyypillisesti johdeta suoraan sadevesiviemäristöön, joten EIA-arvot jäävät alhaisiksi. Kattopintojen osuus TIA-arvosta on pienin teollisuus tai kauppakeskusalueilla, joilla päällystetyt piha-alueet ovat laajoja. Kuitenkin määrällisesti kattopintoja on näillä alueilla eniten, minkä lisäksi ne on tyypillisesti kytketty suoraan sadevesiviemäriverkkoon eli lukeutuvat tehokkaisiin läpäisemättömiin pintoihin. (Carter & Jackson 2006)

EIA:n osuuden määrittäminen ilman kohteessa vierailua tai kiinteistöjen sadevesiviemärikarttoja on haastavaa. Koska laajalla suunnittelualueella kohteissa vierailu ei ole suunnittelun resurssien puitteissa mahdollista eikä kiinteistöjen putkilinjoja ei ole tyypillisesti merkittynä kuntien sadevesiviemärikarttoihin, EIA määrittäminen jää lähinnä empiiristen kaavojen ja arvioiden varaan. Yleispiirteeksi Kuusisto (2002) toteaa, että Suomessa usean neliökilometrin laajuisilla valuma-alueilla EIA-arvot jäävät pääosin alle 15 %:iin. Hulevesisuunnittelun kannalta on kuitenkin tärkeä huomata, että paikallisesti, esimerkiksi hehtaarin laajuisilla osavaluma-alueilla EIA-arvot voivat olla hyvinkin suuria.

### 5.2.3. Kertymisajan määrittäminen

Sadetaapahtuman sademäärän ja häviöiden erotuksesta muodostuva hulevesien määrä ei ole riittävä tieto hulevesien hallintajärjestelmien suunnittelussa. On myös pystyttävä kuvaamaan hulevesivalunnan ajallista esiintymistä valuma-alueen purkupisteessä, mitä kuvataan kertymisajan (*time of concentration*) käsitteellä (McCuen 2004). Kertymisajan määrittämiseen on useita empiirisiä laskentamenetelmiä, mutta yleisesti kertymisaika ajatellaan veden virtausaikana valuma-alueen kauimmaisesta pisteestä valuma-alueen purkupisteeseen (USDA 1986; McCuen 2004). Kertymisaikaan vaikuttavat moninaiset valuma-alueen fyysiset ominaisuudet, mutta myös sadetaapahtuman parametreilla on vaikutusta (Villarreal et al. 2004).

Kertymisajan lähtökohtana on määrittää missä ajassa suurin osa muodostuvista hulevesistä saapuu valuma-alueen purkupisteeseen. Tulvariskien arvioinnissa valuma-alueiden kertymisajat ovat ratkaisevia, sillä jos usean valuma-alueen kertymisajat ovat lyhyet ja niiden suuret virtaamahuiput esiintyvät yhteisellä purkureitillä samanaikaisesti, tulvariski on ilmeinen. Jos taas valuma-alueiden kertymisajat ovat pitkiä, purkuvirtaamat jakautuvat pidemmälle ajalle ja virtaamahuiput jäävät alhaisemmiksi (McCuen 2004).

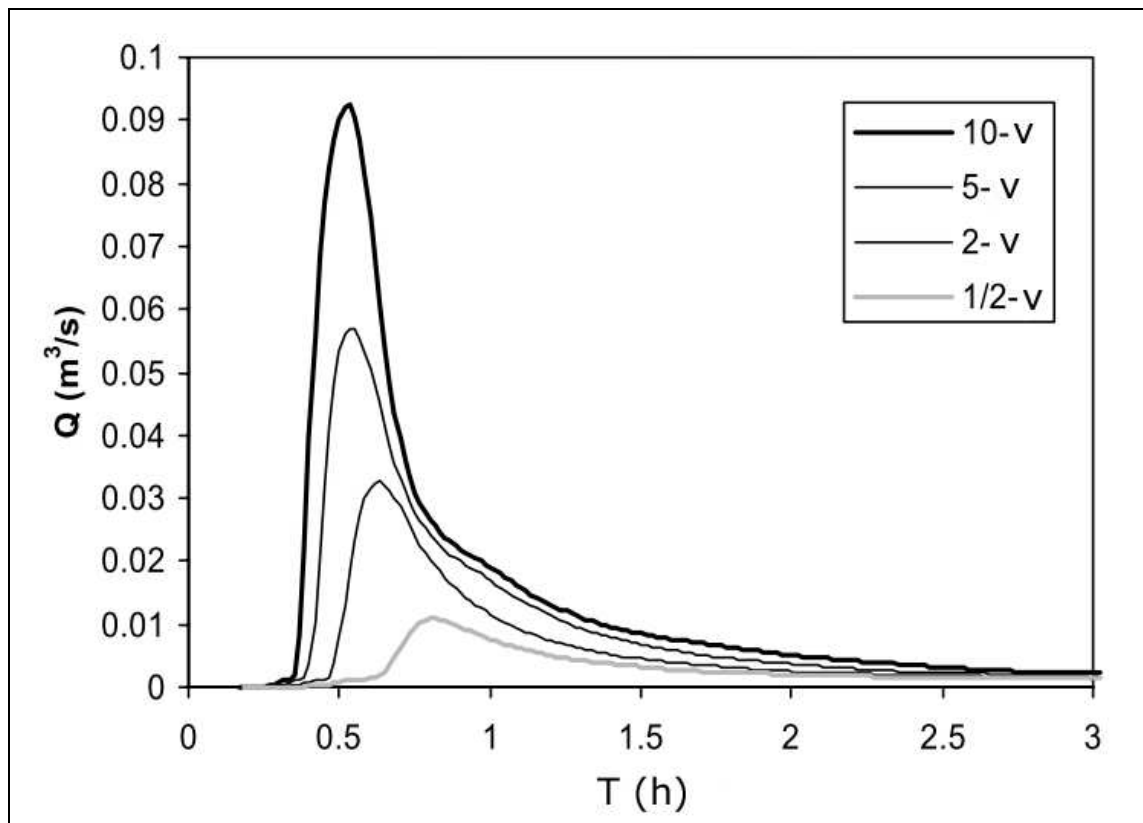
Valuma-alueen sisällä tapahtuva hulevesivalunta sisältää tyypillisesti neljää virtaustyyppiä (*flow regime*). Kun sade saavuttaa maanpinnan, virtaus tapahtuu ensin ohuena tasaisena kerroksena (*sheet flow*). Pinnan epätasaisuuksista johtuen ensimmäisten muutaman kymmenen metrin matkalla virtaus kanavoituu (*concentrated flow*), jolloin virtausnopeus kasvaa. Tämä jälkeen keskittynyt virtaus päättyy hulevesiä kokoaviin ojiin tai suurempiin painanteisiin, joissa virtaus tapahtuu avouomavirtauksena (*channel flow*). Lopulta avouoma voidaan johtaa sadevesiviemäriin, jossa virtaus on putkivirtausta (*pipe flow*). (USDA 1986; McCuen 2004)

Kertymisajan laskennassa käytetään valuma-alueen fyysisistä ominaisuuksia kuten valuma-alueen muotoa sekä pintojen laatua ja keskimääräistä kaltevuutta. Muodoltaan pyöreillä valuma-alueilla sen reunoilta on keskimäärin yhtä pitkä matka valuma-alueen purkupisteeseen, jolloin kertymisaika jää lyhyemmäksi ja virtaamahuippu on suurempi (McCuen 2004). Sen sijaan pitkänomaisilla valuma-alueilla, joilla etäisimmät pisteet sijaitsevat kaukana purkupisteestä, kertymisaika muodostuu pitemmäksi ja virtaamahuippujää alhaisemmaksi. Valuma-alueen muotoa kuvataan tyypillisesti erilaisilla muotokertoimilla, kuten esimerkiksi SWMM-mallissa suhteellisen leveyden arvolla (Rossman 2009). Valuma-alueen muodon lisäksi kertymisaikaan vaikuttavat keskimääräinen pinnan karheus, joka ilmoitetaan tyypillisesti Manningin  $n$ -kertoimella sekä virtausreittien keskimääräinen kaltevuus.

Teoriassa valuma-alueen kertymisaika on pisimmän valumareitin mukainen, kaikkien sen aikana esiintyvien virtaustyyppien summa (USDA 1986; McCuen 2004). Mallinnuksessa kaikkia virtausmuotoja ei kuitenkaan tyypillisesti voida huomioida erikseen, koska tällöin malliin syötettävästä pienvaluma-aluejaosta ja verkostomallista tulisi tehdä äärimmäisen yksityiskohtainen. Sen sijaan mallinnuksessa tulee valita

sellaiset keskimääräiset valuma-aluetta kuvaavat parametrit (valuma-alueen muoto, karkeus ja kaltevuus), joilla mallinnettu kertymisaika vastaisi mahdollisimman hyvin todellista kertymisaikaa.

Valuma-alueen fyysisten ominaisuuksien lisäksi myös sadetapahtuman ominaisuuksilla on huomattava vaikutus valuma-alueen kertymisaikaan (Villarreal et al. 2004). Sateen intensiteetin kasvaessa maan pinnalla ja virtaavan vesikerroksen paksuus kasvaa, mikä lisää veden virtausnopeutta, lyhentää valuma-alueen kertymisaikaa ja kasvattaa virtaamahuippuja. Esimerkki sateen intensiteetin vaikutuksesta kertymisaikaan ja virtaamahuipun suuruuteen on esitetty kuvassa 11.



**Kuva 11.** Esimerkki sateen intensiteetin vaikutuksesta valuma-alueen kertymisaikaan ja virtaamahuipun suuruuteen. Sadetapahtuman toistuvuudet vaihtelevat kerran puolesta vuodesta (pienin intensiteetti) kerran kymmeneen vuoteen (suurin intensiteetti) (Villarreal et al. 2004)

Käytännössä valuma-alueiden kertymisaikoihin vaikuttaa edellä kuvattujen muuttujien lisäksi myös muut tekijät kuten valumareittien jatkuvuus. Toisinaan valumareitit ovat epäjatkuvia eli esimerkiksi oja voi purkaa vedet takaisin maastoon, jossa virtaus tapahtuu taas ohuena pintavaluntana. Vastaavasti myös sadevesiviemärit voivat johtaa vedet maastonkohtiin, joista virtaus eteenpäin on vähäistä. Suurimpien valumareittien jatkuvuus on usein helppo todeta esimerkiksi kartta- tai ilmakuvatarkastelujen perusteella, mutta pienessä mittakaavassa valumareittien yhtenäisyyden selvittäminen on hankalaa, kuten tehokkaan läpäisemättömän pinnan

(EIA) määrittämisessä on todettu (Kuusisto 2002). Kertymisaikojen määrittämisessä toinen huomionarvoinen tekijä on valuma-alueen sisäisten lammikoiden ja järvien vaikutus. Etenkin suurempien lammikoiden hulevesivirtaamia puskuroivat ominaisuudet tulisi ottaa mallinnuksessa huomioon.

Perinteisesti kertymisaikaa on käytetty hyväksi mitoitustarkasteluissa käytettävien sadetapahtumien keston valinnassa siten, että mitoitettava sadetapahtuma on valittu tarkasteltavan valuma-alueen kertymisajan mittaiseksi (Tielaitos 1993). Muuttuvan intensiteetin *Chicago Design Storm* -sateiden käytön myötä pienien valuma-alueiden virtaamahuiput eivät kuitenkaan enää esiinny kertymisajan osoittamilla ajanhetkillä, vaan sateen ajallinen muoto määrittää virtaamahuipun esiintymisen.

## 6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Kaupungistuminen lisää läpäisemättömien pintojen osuutta valuma-alueesta, mikä kiistattomasti kasvattaa hulevesivalunnan määrää ja ääreistää valuntatapahtumia. Tästä aiheutuvat suurimmat haittavaikutukset ovat kaupunkitulvien lisääntyminen ja taajamien pienvesistöjen kunnon heikkeneminen. Haittavaikutusten ehkäisemiseksi on kehitetty erilaisia rakenteellisia hulevesien hallintamenetelmiä, joilla pyritään hulevesien muodostumisen ehkäisyyn, hulevesien hallittuun johtamiseen ja viivyttämiseen. Oman lisänsä hallintamenetelmiin tuo ei-rakenteelliset eli hallinnolliseen ohjaukseen perustuvat menetelmät kuten kuntien hulevesistrategiat.

Suuntaus vaiheittaiseen hulevesien hallinnan suunnitteluun on järkevä. Strategisella tasolla tehdyt linjaukset yhdenmukaistavat kunnan käytäntöjä ja luovat selkeät reunaehdot sille, milloin hulevesien hallintaa tulee suorittaa ja, kuka toimenpiteistä on vastuussa. Strategisen tason päätökset velvoittavat hulevesien hallinnan huomioimiseen kaavoitusprosessin alkuvaiheista lähtien, jolloin voidaan huomioida parhaiten mahdollisimman luonnonmukainen hulevesien johtaminen ja hallintamenetelmien sijoittaminen. Haasteen vaiheittaiselle suunnittelulle luo nykyinen trendi laatia erityisiä hankekaavoja ja asemakaavoittaa kerralla vain pieniä alueita, jolloin hulevesien hallintamenetelmien muodostaman kokonaisuuden hahmottaminen vaikeutuu. Kuntien hulevesistrategiat vastaavat kuitenkin osaltaan juuri tähän haasteeseen.

Hulevesien hallintajärjestelmien suunnittelussa tee saada kuva laajasta kokonaisuudesta, joka sisältää monimutkaiset hydrologiset prosessit, hulevesien hallintajärjestelmien ominaispiirteet ja verkostojen yksityiskohdat. Kun tähän lisätään teknologian kehityksen myötä kasvanut lähtötietojen määrä, kuten erilaiset tietokannat ja maastomallit, on kokonaisuuden hallitsemiseksi käytettävä hulevesien mallinnusohjelmistoja. On kuitenkin väärin ajatella, että lisääntyneet lähtötiedot ja kehittyneet ohjelmistot tekisivät suunnittelusta automaattisesti laadukkaampaa. Mallinnusohjelmistot mahdollistavat entistä useampien muuttujien huomioimisen laskennassa, mutta sen tuomaan käytännön hyötyyn tulee suhtautua varauksella, koska kaikkien muuttujien huomioiminen luo liian tarkat vaatimukset mallinnuksen lähtötiedoille, hidastaa suunnittelutyötä ja kasvattaa mallinnuksen tulosten epävarmuutta. Ohjelmistojen käytön takana tulee aina olla ymmärrys mallin toiminnasta, jotta malli osataan laatia mallinnuksen tavoitteiden kannalta järkevästi. Tämän lisäksi on otettava alusta asti huomioon, mitä suureita tarkastellaan ja, mitkä ovat tarvittavat tarkastelupisteet. Mallinnusprojekteissa myös mallin toiminnallisuus

nousee avainasemaan, koska se helpottaa ja nopeuttaa esimerkiksi muutosten tekoa ja tulosten keräystä.

Suomessa tehtyjen rankkasadetutkimusten (Kilpeläinen 2006) perusteella voidaan todeta rankimpien sateiden esiintyvän loppukesällä, heinä–elokuussa, jolloin ne ovat lyhytkestoisia ja intensiteetiltään suuria. Näin ollen suunnittelussa käytettävien mitoitustilanteiden voidaan ajatella useissa tapauksissa sijoittuvan tälle ajalle. Tutkimuksissa on todettu myös, että sadetapahtumat esiintyvät tyypillisesti ryppäissä, jolloin voidaan olettaa, että suhteellisen lyhyen ajan sisällä ennen varsinaista mitoitettavaa rankkasadetilannetta esiintyy toinen sadetapahtuma. Näin ollen maaperän pintakerros ja rakennetut pinnat voivat olla jo valmiiksi kosteita, mikä pienentää mitoitustilanteessa tapahtuvia sadannan alkuhäviöitä ja kasvattaa hulevesivirtaamia. Tämä tarkoittaa myös sitä, että etenkin rakennettujen alueiden läpäiseviltä pinnoilta muodostuu välitöntä valuntaa, mikä tulee huomioida läpäisemättömien pintojen kokonaismäärässä. Tähän voidaan varautua käyttämällä mallinnuksessa hieman keskimääräistä pienempiä häviöitä ja asettamalla myös läpäiseville pinnoille jokin valumakerroin. Näin toimittaessa on kuitenkin merkittävää tutkia, että pääseekö läpäisevien pintojen hulevesivalunta suoraviivaisesti hulevesiä keräävään sadevesiviemäri- tai ojaverkostoon.

Sadetapahtumien väliin jäävistä lyhyet kuivat jaksot voivat johtaa myös siihen, että hulevesien hallintajärjestelmien kapasiteetti on osittain käytössä varsinaisen mitoitussateen alkaessa. Oletusta voidaan pitää perusteltuna ainakin silloin, kun mallinnuksilla pyritään poikkeustilanteiden tarkasteluihin. Samaan ajatukseen perustuu myös *Chicago Design Storm* (CDS-sade), jonka on todettu vastaavan tilastollisesti varsin hyvin rankkasateiden keskimääräistä ajallista muotoa. CDS-sateen käyttöä erikoistilanteiden tarkasteluissa puoltaa myös se, että se aiheuttaa samanaikaisesti sekä viivytystilavuuden mitoitavan vesimäärän että verkoton mitoitavan lyhyemmän virtaamapiikin. On kuitenkin muistettava, että sadetapahtumat ovat aina yksilöllisiä ja paikallisesti hyvin vaihtelevia, joten parhaatkin mallinnuksessa käytettävät synteettiset sadetapahtumat ovat lopulta vain karkeita arvauksia todellisista tilanteista.

CDS-sadetta tulee käyttää vain erikoistilanteiden tarkasteluihin. Esimerkiksi yksittäisten rumpuputkien mitoituksessa kannattaa käyttää edelleen tasaisen intensiteetin sadetapahtumia. On huomattava, että CDS-sateita käytettäessä virtaamahuiput eivät esiinny valuma-alueen kertymisajan osoittamilla ajanhetkillä, vaan sadetapahtuman keskellä. Tästä johtuen valuma-alueiden parametrien ja kertymisaikojen todenmukaisuutta tulee arvioida myös tasaisen intensiteetin sadetapahtumien perusteella, joilla kertymisaika on helposti havaittavissa valuma-alueiden purkautumiskäyristä.

Sadevesiviemäriverkko ja hulevesirakenteet rakennetaan tyypillisesti noin 50 vuodeksi. Verkostojen ja rakenteiden pitkää käyttöikää ja suuria investointikustannuksia silmällä pitäen on perusteltua ottaa mitoituksessa huomioon ilmastonmuutoksen vaikutukset. RATU-hankkeen loppuraportissa (Aaltonen et al. 2008) esitettiin, että sademäärät ja sateiden intensiteetit kasvaisivat ilmastonmuutoksen vaikutuksesta vuosisadan viimeiseen neljännekseen mennessä. Tämä voidaan huomioida

suunnittelussa käyttämällä astetta harvemmin toistuvia nykyisiä mitoitussateita. Tämä on helppo toteuttaa ja oletuksen tarkkuutta voidaan pitää riittävänä, koska kyseessä on jo lähtökohtaisesti hyvin suuria epävarmuuksia sisältävä ennustus.

Hulevesimallinnuksessa pyritään kuvaamaan erittäin monimutkaisia luonnollisia hydrologisia prosesseja, joissa syy-seuraus-suhteet eivät ole yksiselitteisiä. Näin ollen mallinnus perustuu aina karkeisiin yleistyksiin ja samanlaisiin tuloksiin voidaankin päästä lukuisilla erilaisilla parametriyhdistelmillä. On myös todettu, että mallinnuksen tulokset ovat korkeintaan niin laadukkaita kuin käytettävät lähtötiedot. Tämä on haaste etenkin hulevesisuunnittelussa, jossa hydrologiset parametrit perustuvat pääosin empiirisiin havaintoihin ja kirjallisuusarvoihin, joiden soveltuvuutta suunnittelualueelle ei voida täysin varmistaa. Sen sijaan jos kyseessä on erityinen koealue, on mahdollista suorittaa erilaisia hulevesien määrään, virtaamiin ja laatuun liittyviä mittauksia. Tällöin on mahdollista tehdä myös hulevesimallinnusta teoreettisesti tarkemmaksi ja suorittaa mallin uskottavuutta parantavia toimenpiteitä kuten kalibrointia ja validointia. Silti näissäkin poikkeustapauksissa malliin syötettyjen yksityiskohtien toiminnan kalibrointiin tuskin on mahdollisuutta. Mallinnus ei näin ollen parhaimmassakaan tapauksessa kuvaa täsmällisesti todellisia tapahtumia, joten lähtöarvojen määrittämisessä ei kannata takertua pienimpiin yksityiskohtiin. Tärkeintä on valita parametrit oikeasta suuruusluokasta ja rakentaa malli helppokäyttöiseksi ja ymmärrettäväksi.

Mallin ymmärrettävyyttä voidaan parantaa tekemällä sopivassa määrin yksinkertaistuksia, joilla muuttujien määrää saadaan vähennettyä, mutta tuloksien suuruusluokka pysyy kuitenkin oikeana. Voidaan esimerkiksi määrittää esimerkkikohteiden perusteella tietyt maankäyttötyypit, joiden avulla valuma-alueen maankäyttöä kuvataan. Myös pintavalunnan muodostuminen voidaan kuvata rankkasadetilanteissa yksinkertaisemmin esimerkiksi käsittelemällä sadannan häviöt yhtenä kokonaishäviönä. Tapauskohtaisesti tulee kuitenkin tarkkaan harkita, mitkä ovat kunkin yleistyksen vaikutukset kokonaisuuteen. Tärkeää on valita parametrit niin, että suunnittelussa ollaan aina varmallalla puolella. Liian suuria varmuuskertoimia tulee kuitenkin välttää, jotta ei päädytä tarpeettomaan ylimitoittamiseen.

Hulevesimallinnuksen suorittamiseen ei ole yhtä oikeaa ratkaisua, vaan kullekin suunnittelukohteelle tulee valita sille parhaiten soveltuva menettely. Rajalliset resurssit muodostavat selkeät reunaehdot käytännön suunnittelutyölle, joten siinä on keskityttävä olennaiseen. Myös työn mittakaavalla on merkitystä, sillä pienialaisissa suunnitelmissa on yleensä mahdollista kerätä lähtötiedot ja laatia malli yksityiskohtaisemmin kuin suurialaisissa töissä. Suunnittelu onkin aina tasapainottelua nopeuden ja yksityiskohtaisuuden välillä, joten on tärkeää löytää se taso, jolla mallinnus antaa työpanokseen nähden riittävän laadukkaat tulokset. Mallinnusmenetelmissä olevista epävarmuuksista huolimatta mallinnuksella on joustavuutensa ja monipuolisuutensa ansiosta kiistattomia etuja suunnittelutyössä.



## LÄHTEET

- Aaltonen, J. 2008. *Sadanta-valuntaprosessi taajama-alueella: MOUSE ja MIKE SHE-ohjelmien testaaminen*. Teknillinen korkeakoulu, Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta. Diplomityö. Helsinki. 113 s. [Verkkodokumentti] Viitattu 10.1.2010. Saatavissa: <http://www.water.tkk.fi/wr/tutkimus/thesis/Aaltonen2008.pdf>
- Aaltonen, J. Hohti, H. Jylhä, K. Karvonen, T. Kilpeläinen, T. Koistinen, J. Kotro, J. Kuitunen, T. Ollila, M. Parvio, A. Pulkkinen, S. Silander, J. Tiihonen, T. Tuomenvirta, H. & Vajda, A. 2008. *Rankkasateet ja taajamatulvat (RATU)*. Suomen ympäristö, 31, Suomen ympäristökeskus. 123 s. [verkkodokumentti] Viitattu 24.11.2009. Saatavissa: [www.ymparisto.fi/](http://www.ymparisto.fi/)
- Atlanta Regional Commission (ARC). 2001. *Georgia Stormwater Management Manual. Volume 2: Technical handbook*. First Edition. [verkkodokumentti] Viitattu 11.11.2009. Saatavissa: <http://www.georgiastormwater.com>
- American public works association (APWA). 1981. *Urban stormwater management*. Special report no. 49. Chicago. 285 s.
- Arnell, V. 1980. *Description and Validation of the CTH-Urban Runoff Model*, Chalmers University of Technology, Department of Hydraulics, report Series A:5, Göteborg
- Bahat, Y., Grodek, T., Lekach, J. & Morin, E. 2009. *Rainfall-runoff modeling in a small hyper-arid catchment*. Journal of Hydrology, Volume 373, Issues 1-2, 30 June 2009, s. 204–217. [verkkodokumentti] Saatavuus rajoitettu: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).
- Becciu, G. & Paoletti, A. 1997. *Random characteristics of runoff in urban catchments*. Water Science and Technology, 36: 8–9. s.39–44.
- Booth, D.B. 1991. *Urbanization and the natural drainage system - impacts, solutions, and prognoses*. The Northwest Environmental Journal 7: 1, s. 93–118. [verkkodokumentti] Viitattu 27.4.2010. Saatavissa: <http://water.washington.edu/Research/Reports/nwej1991.pdf>
- Carter, T. & Jackson, C. R. 2006. *Vegetated roofs for stormwater management at multiple spatial scales*. Landscape and Urban Planning, Volume 80, Issues 1–2, 28 March 2007, s. 84–94. [verkkodokumentti] Saatavuus rajoitettu: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).
- City of Olympia. 1995. *Impervious surface reduction study: Final report*. Public Works Department, City of Olympia, Washington.
- Chocat, B., Krebs, P., Marsalek, J., Rauch, W. & Schilling, W. 2001. *Urban drainage redefined: from stormwater removal to integrated management*. Water Science and Technology, 43, 5, s. 61–68.

Christensen, J. Carter, T. Rummukainen, M. & Amanatidis, G. 2007. *Evaluating the performance and utility of regional climate models: The PRUDENCE project*. Climatic Change 81, Supplement 1: 1–6.

Duncan, H. P. 1999. *Urban Stormwater Quality: a Statistical Overview*. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology. Report 99/3, February 1999. 80 s. + liitteet.

Enckell, E., Airola, H., Tornivaara-Ruikka, R., Villa, L. & Salasto, R. (toim.) 2002. *Ympäristön tila muuttuu: Uudenmaan ympäristökeskuksen seurantaraportti, Alueelliset ympäristöjulkaisut 269 (AY269)*, 96 s. [verkkodokumentti] Viitattu 27.4.2010. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/>

Ewen, J., O'Donnell, G., Burton, A. & O'Connell, E. 2006. *Errors and uncertainty in physically-based rainfall-runoff modelling of catchment change effects*. Journal of Hydrology 330(3-4): 641-650. [verkkodokumentti] Saatavuus rajoitettu: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).

Haapanala, A., Laine, R., Lunden, T., Pitkäranta, H., Raatikainen, E., Saarinen, T., Salmi, R.-L. & Sippola-Alho, T. 2002. *Maankäyttö- ja rakennuslaki 2000. Opas 11 Yleiskaavamerkinnot ja -määräykset*. 127 s. [verkkodokumentti] Viitattu 20.4.2010. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/>

Herricks, E. 1995. *A context for Understanding Stormwater Effects in Receiving Systems*. Teoksessa: Herricks, Edwin E. et al. (toim.) Stormwater runoff and receiving systems – Impact, monitoring and assessment. Florida: CRC Press, Inc. 458 s.

Hoglund, W. 1986. *Urban and rural water budgets*. Väitöskirja. Lund University, LUTVDG(TVVR1006)/1278/(1986).

Holmstrand, O. 1984. *Infiltration of stormwater: Research at Chalmers University of Technology, results and examples of application*. Teoksessa: Balmér, P. & Malmqvist, P.-A. & Sjöberg, A. (toim.) *Proceedings of the Third International Conference on Urban Storm Drainage, Göteborg, Sweden, June 4-8, 1984. Volume III: Planning and control of urban storm drainage*. Göteborg: Chalmers University of Technology. s. 1057–1066.

Hyöty, P. 2007. *Hulevesien luonnonmukaisen hallinnan menetelmät: suunnitteluohje*. Kuopion kaupunki. Suunnittelukeskus Oy, 7.2.2007. [verkkodokumentti] Viitattu 9.1.2010. Saatavissa: [www.kuopio.fi](http://www.kuopio.fi)

Hyöty, P. 2010. *Hulevesiopus, raporttiluonnos, osio. 11*. Kuntaliitto. Luonnos. 8 s.

Jutila, H. 2009. *Hämeenlinnan kaupungin hulevesistrategia*. Hämeenlinnan ympäristöjulkaisuja 1. 45 s. [verkkodokumentti] Viitattu 10.1.2010. Saatavissa: <http://www.hameenlinna.fi/pages/21158/Hulevesistrategia.pdf>

Jylhä, K., Tuomenvirta, H. & Ruosteenoja, K. 2004. *Climate change projections for Finland during the 21st century*. Boreal Environment Research 9: 127–152.

Katajisto, R. 1969. *Rankkasateiden voimakkuus ja toistumistiheys Suomessa*. Rakenushallitus, tiedotuksia. 13 s.

Keifer, C. J. & H. H. Chu. 1957. *Synthetic storm pattern for drainage design*. ASCE Journal of the Hydraulics Division, 83 (HY4), 1-25.

Kilpeläinen, T. 2006. *Kesäsateiden imastolliset piirteet Helsingin Kaisaniemessä 1951–2000*. Helsingin yliopisto, matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta, fysikaalisten tieteiden laitos. Pro gradu –tutkielma. 75 s. [verkkodokumentti] Viitattu 9.1.2010. Saatavissa: <http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/mat/fysik/pg/kilpelainen/kesasate.pdf>

Kotola, J. & Nurminen, J. 2003a. *Kaupunkialueiden hydrologia - valunnan ja ainehuuhtouman muodostuminen rakennetuilla alueilla, (RYVE), osa 1: kirjallisuustutkimus*. Teknillisen korkeakoulun vesitalouden ja vesirakennuksen julkaisuja 7 (TKK-VTR-7), 92 s. [verkkodokumentti] Viitattu 9.1.2010. Saatavissa: <http://www.water.tkk.fi/wr/tutkimus/julkaisut/TKK-VTR-7.pdf>

Kotola, J. & Nurminen, J. 2003b. *Kaupunkialueiden hydrologia - valunnan ja ainehuuhtouman muodostuminen rakennetuilla alueilla, (RYVE), osa 2: koealuetutkimus*. Teknillisen korkeakoulun vesitalouden ja vesirakennuksen julkaisuja 8 (TKK-VTR-8), 203 s. [verkkodokumentti] Viitattu 9.1.2010. Saatavissa: <http://www.water.tkk.fi/wr/tutkimus/julkaisut/TKK-VTR-8.pdf>

Kuusisto, P. 2002. Kaupunkirakentamisen vaikutus pieniin valuma-alueisiin ja vesistöihin Suomessa. Helsingin yliopiston maantieteen laitoksen julkaisuja B 48. 69 s. [verkkodokumentti] Viitattu 9.1.2010. Saatavissa: [http://www.helsinki.fi/ml/maant/labrat/Julkaisuja\\_B48.pdf](http://www.helsinki.fi/ml/maant/labrat/Julkaisuja_B48.pdf)

Linsley, R., Kohler, M. & Paulhus, J. 1975. *Hydrology for engineers*. Second Edition. Tokio. McGraw-Hill. 482 s.

Livingston, E.H. & McCarron, E. 1992. *Stormwater Management: A Guide for Floridians*. Florida Department of Environmental Regulation, Tallahassee. [verkkodokumentti] Saatavissa: [http://www.dep.state.fl.us/water/nonpoint/docs/nonpoint/Stormwater\\_Guide.pdf](http://www.dep.state.fl.us/water/nonpoint/docs/nonpoint/Stormwater_Guide.pdf)

Mc Cuen, R. H. 2004. *Hydrologic Analysis and Design, Third Edition*. Pearson Prentice Hall, New Jersey. 888 s.

Marsalek, J. & Chocat, B. 2002. *International report: stormwater management*. Water science and technology. vol. 46, no. 6-7, s. 1-17.

Melanen, M. 1982. *Valtakunnallisen hulevesitutkimuksen tulokset*. Vesitalous 3/1982, s. 1–20.

Melanen, M. 1986. [Luku 14.5:] *Kaupungistuminen*. Teoksessa: Mustonen, S. (toim.) *Sovellettu hydrologia*. Helsinki: Vesiyhdistys r.y. s. 408-411.

Metcalf & Eddy, Inc., University of Florida, and Water Resources Engineers, Inc.

1971. *Storm Water Management Model, Vol. I. Final Report*, 11024DOC07/71, Water Quality Office, US EPA, Washington, DC.

Metsäranta, N. 2003. *Valunnan muodostuminen taajama-alueilla; laskentamallin kehitys ja soveltaminen*. Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto. Diplomityö. Helsinki. 108 s. [Verkkodokumentti] Viitattu 10.1.2010. Saatavissa: <http://www.water.tkk.fi/wr/tutkimus/thesis/Metsaranta2003.pdf>

Muzylo, A., Llorens, P., Valente, F., Keizer, J.J., Domingo, F. & Gash, J.H.C. 2009. *A review of rainfall interception modeling*. Journal of Hydrology, Volume 370, Issues 1-4, 30 May 2009, s. 191–206. [verkkodokumentti] Saatavuus rajoitettu: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).

Nix, S. 1994. *Urban stormwater modeling and simulation*. Florida, CRC Press Inc. 212s.

Nurmi, P. Heinonen, T. Jylhänlehto, M. Kilpinen, J. Nyberg, R. 2008. *Helsingin kaupungin hulevesistrategia*. Helsingin kaupungin rakennusvirastob julkaisut 2008:9 / Katu- ja puisto-osasto. Helsinki. 13 s. + liitteet. [verkkodokumentti] Viitattu 10.1.2010. Saatavissa: [http://www.hel.fi/static/hkr/julkaisut/2008/hulevesistrategia\\_2008\\_9.pdf](http://www.hel.fi/static/hkr/julkaisut/2008/hulevesistrategia_2008_9.pdf)

Overton, D. & Meadows, M. 1976. *Stormwater modeling*. New York: Academic Press. 351 s.

Park, M.-H., Swamikannu, X. & Stenstrom, M. 2009. *Accuracy and precision of the volume–concentration method for urban stormwater modeling*. Water Research, Volume 43, Issue 11, June 2009, s. 2773–2786

Porin kaupunkikonserni. 2008. *Ympäristöraportti 2007*. Raportti, ympäristötoimisto 3/2008. [verkkodokumentti] saatavissa: <http://www.pori.fi/ysto/julkaisut/ymparistoraportti2007.pdf>

Rantakrans, E. 1967. *Ilmatieteen laitoksen ja Sodankylän observatorion havaintoihin perustuva tilastollinen tutkielma sateen rankkuuksista*. Tutkielma. Helsingin yliopisto, meteorologian laitos. 13 s.

Roesner, L. A. 1982. *Urban runoff processes*. Teoksessa: Kibler, D. F. (toim.) *Urban stormwater hydrology*. Washington: American Geophysical Union. S. 137–159.

Rossmann, L. 2009. *Storm Water Management Model, User's Manual, Version 5*, US Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio. Report EPA/600/R05/040

Rutter, A., Morton, A., Robins, P., 1975. *A predictive model of rainfall interception in forests. II. Generalization of the model and comparison with observations in some coniferous and hardwood stands*. Journal of Applied Ecology 12, 367–380.

Räisänen, J. & Ruokolainen, L. 2006. *Probabilistic forecasts of near-term climate change based on area sampling ensemble technique*. Tellus 58A: 461–472.

Schueler, T., R. 1994. *The importance of imperviousness*. Watershed Protection Techniques 1: 3, 100–111.

Semanedi-Davies, A., Hernebring, C., Svensson, G., Gustafsson, L.-G. 2007. *Impacts of climate change and urbanisation on drainage in Helsingborg, Sweden: Suburban stormwater*.

Simojoki, H. 1966. *Suomen vesitaloudesta. Hydrologiantoimiston tiedonantoja XV*. Helsinki.

Suomen kuntatekniikan yhdistys (SKTY). 2003. *Katu 2002*. Suomen kuntatekniikka yhdistyksen julkaisuja. 288 s.

Spildevandskomiteen. 2008. *Regneark til bestemmelse af Regnkurver, CDS regn og bassinvoluminer, Teknisk documentation og brugervejledning, Version 3.1*. Tanska.

Stephenson, D. 1981. *Stormwater hydrology and drainage*. Developments in water science 14. Elsevier Scientific Publishing Company, Hollanti. 276 s.

Strubble, G. Hromadka, T & McCarty, J. 1997. *Usage of storm water management practices in Southern California*. Water Resources Management 11, 467–481.

Suhyung, J., Geonha K., Hafzullah A., Jaeyoung Y., Leehyung K., Minock C., Sangdan K. & Yongnam Y. 2007. *Using SWMM as a tool for hydrologic impact assessment*. Desalination 212 (2007) s. 344–356. [verkkodokumentti] Saatavuus rajoitettu: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).

Tampereen kaupunki. 2010. *Vuoreskeskus itä – Asemakaava osa A nro 8038, Asemakaavaselostus 18.12.2009, tark. 17.2.2010*. Tampereen kaupunki, Infratuotanto Liikelaitos, Suunnittelupalvelut, Asemakaavasuunnittelu. [verkkodokumentti] Saatavissa: <http://www.tampere.fi/ytoteto/aka/nahtavillaolevat/8038/selostus.pdf>

Tielaitos. 1993. *Teiden suunnittelu IV. Tien rakenne 4. Kuivatus (TIEL 2140005)*. Tielaitos, Kehittämiskeskus. Helsinki.

Tiihonen, T. 2007. *Hydrologiset prosessit taajamavaluma-alueilla; Alueellisesti hajautetun taajamahydrologiamallin kehitys ja soveltaminen*. Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto. Diplomityö. Helsinki. 111 s. [Verkkodokumentti] Viitattu 10.1.2010. Saatavissa: <http://www.water.tkk.fi/wr/tutkimus/thesis/Tiihonen2007.pdf>

Tilastokeskus. 2007. *Suomen tilastollinen vuosikirja 2007* [verkkosivusto] Viitattu 2.5.2010. Saatavissa: [http://pxweb2.stat.fi/sahkoiset\\_julkaisut/vuosikirja2007/alku.htm](http://pxweb2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/vuosikirja2007/alku.htm)

Toba, T. & Ohta, T. 2005. An observational study of the factors that influence interception loss in boreal and temperate forests. *Journal of Hydrology* 313 (2005) 208–220. [verkkodokumentti] Saatavuus rajoitettu: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).

Tornivaara-Ruikka, R. 2006. *Hulevesien käsittely maankäytön suunnittelussa*. Uudenmaan ympäristökeskuksen raportteja 3/2006 (UUSra3/2006), 38 s. [verkkodokumentti] Viitattu 17.4.2010. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=104390&lan=fi>

Urbonas, B. 1994. *Assessment of stormwater BMPs and their technology*. Water science and technology. vol. 29, no. 1-2, s. 347–353.

United States Department of Agriculture (USDA). 1986. *Urban hydrology for small watersheds*. USDA, National Resources Conservation Service, Conservation Engineering Service. Technical Release 55. June 1986. s. 164. [verkkodokumentti] Saatavissa: <http://www.cpesc.org/reference/tr55.pdf>

United States Environmental Protection Agency (US EPA). 1999. *Preliminary data summary of urban storm water best management practices*. EPA-821-R-99-012. Office of Water, Washington, D.C. 214 s. [verkkodokumentti] Viitattu 10.1.2010. Saatavissa: <http://www.epa.gov/waterscience/guide/stormwater/>

Uppala, S. 1978. *Extreme Distribution Functions for daily and monthly precipitation in Finland*. Geophysica 15(a): s. 17–39.

Vakkilainen, P., Kotola, J. & Nurminen, J. (toim). 2005. *Rakennetun ympäristön valumavedet ja niiden hallinta*. Suomen ympäristö 776. Ympäristöministeriö. Helsinki. 116 s. [verkkodokumentti] saatavissa: [www.ymparisto.fi](http://www.ymparisto.fi)

Vantaan kaupunki. 2009. *Vantaan hulevesiohjelma*. Vantaan kaupunki, Kuntatekniikan keskus. Kuntek 2/2009, C16:2009. [verkkodokumentti] Viitattu 7.5.2010. Saatavissa: <http://www.vantaa.fi/>

Venäläinen, A. Jylhä, K. Kilpeläinen, T. Ruosteenoja, K. Räisänen, J. Saku, S. Tuomenvirta, H. Vajda, A. 2007. *Sään ääri-ilmiöistä Suomessa*. Raportteja 2007:4. 81 s. [verkkodokumentti] Viitattu 10.1.2010. Saatavissa: <http://www.ilmatieteenlaitos.fi/kuvat/2007nro4.pdf>

Villarreal, E. L., Semadeni-Davies, A., Bengtsson, L. 2004. *Inner city stormwater control using a combination of best management practices*. Ecological Engineering, Volume 22, Issues 4–5, 1 July 2004, s. 279–298. [verkkodokumentti] Saatavuus rajoitettu: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).

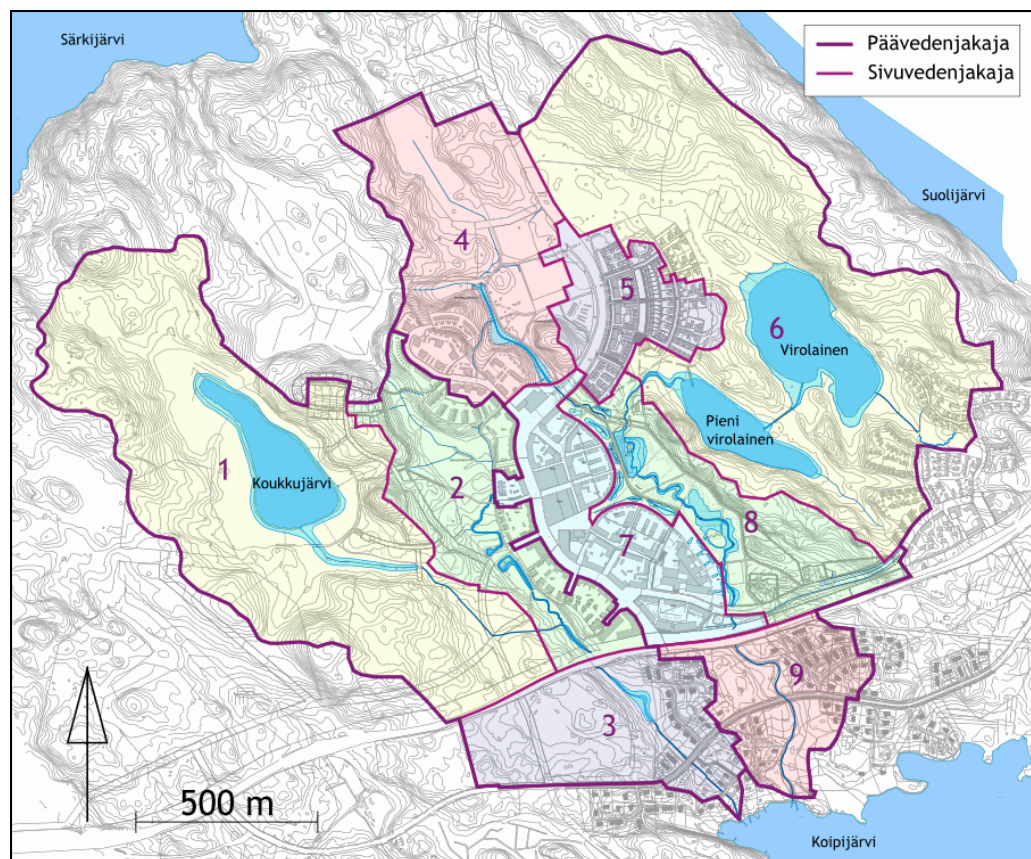
Zoppou, C. 1999. *Review of Storm Water Models, Technical Report No 52/99*, Integrated Water Management Group, Christian Laboratory, CSIRO Land and Water, Canberra ACT, Australia.

## **OSA 2 – CASE VUORES**

**Vuoreksen hulevesien hallinnan yleissuunnitelman päivitys ja hulevesimallinnus**

Tampereen kaupunki

## **VUOREKSEN HULEVESIEN HALLINNAN YLEISSUUNNITELMAN PÄIVITYS JA HULEVESIMALLINNUS**



**Loppuraportti**

**0155-D4150**

28.4.2010



## SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO .....	1
1.1	Lähtökohdat.....	1
1.2	Projektiorganisaatio .....	1
1.3	Käsitteitä.....	1
2	SELVITYSALUE.....	3
2.1	Alueen kuvaus.....	3
2.1.1	Yleistä .....	3
2.1.2	Rakentamattoman tilan maankäyttö ja selvitysalueen maaperä .....	4
2.1.3	Osa-alueet .....	5
2.1.4	Kaavoitus- ja suunnittelutilanne .....	6
2.2	Hulevesien hallintasuunnitelmat selvitysalueella .....	7
2.2.1	Hulevesien hallinnan yleiset periaatteet Vuoreksessa .....	7
2.2.2	Hulevesien hallinta Koukkujärven laskuojan valuma-alueella .....	8
2.2.3	Hulevesien hallinta Virolaisten laskuojan valuma-alueella.....	9
3	HYDROLOGINEN MALLI .....	12
3.1	Mallin kuvaus .....	12
3.2	Pienvaluma-alueet .....	12
3.3	Mallinnuksessa käytetyt sateet .....	13
3.4	Pintavalunnan muodostuminen.....	14
3.4.1	Käytetyn menetelmän kuvaus .....	14
3.4.2	Läpäisemättömien pintojen määrä .....	16
3.4.3	Sadannan häviöt.....	17
3.4.4	Valuma-alueiden kertymisajat .....	18
3.4.5	Keskimääräiset valumakertoimet .....	20
4	HYDRAULINEN MALLI .....	22
4.1	Mallin kuvaus .....	22
4.2	Mallin rakenne ja käytetyt parametrit.....	23
4.2.1	Avouomat ja -ojat.....	23
4.2.2	Järvet.....	23
4.2.3	Sadevesiviemärit ja rummut .....	24
4.2.4	Hulevesien hallintajärjestelmät.....	25
5	MALLINNUKSEN TULOKSET .....	26
5.1	Tarkastellut tilanteet .....	26
5.2	Hulevesivirtaamat rakentamista edeltävässä tilassa .....	27
5.3	Rakentamisen aiheuttama hulevesivirtaamien kasvu .....	28
5.4	Hulevesien hallintajärjestelmien toiminta.....	30
5.4.1	Koukkujärven viivytysratkaisut.....	30
5.4.2	Vuoreskeskuksen länsipuiston hulevesijärjestelmät .....	31
5.4.3	Anniston hulevesijärjestelmät.....	34
5.4.4	Pilkkakuusen hulevesiallas .....	36
5.4.5	Mäyränmäenpuiston hulevesijärjestelmä.....	37
5.4.6	Virolaisten viivytysratkaisut .....	37
5.4.7	Vuoreksen keskuspuiston hulevesijärjestelmät .....	39
5.5	Virtaamat rakentamisen ja hallintatoimenpiteiden jälkeen .....	41
6	TULOSTEN TARKASTELU .....	43
6.1	Havaitut ongelmakohdat.....	43
6.2	Suosituksat jatkotoimenpiteiksi .....	44
6.2.1	Koukkujärven laskuojan valuma-alueella .....	44
6.2.2	Virolaisten laskuojan valuma-alueella .....	48
6.3	Ilmastonmuutoksen vaikutukset .....	49
6.4	Hallinnalla saavutettavat tavoitteet .....	50
7	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	53

LIITTEET:

LIITE 1	VYS-0155-D4150-201	Yleissuunnitelmakartta: Mallinnuksen tulokset jatkotoimenpiteiden jälkeen	1:5000 (A1)	28.4.2010
LIITE 2	VYS-0155-D4150-202	Valuma-aluekartta: Koukkujärven ja Virolaisten laskuojien valuma-alueet	1:5000 (A1)	28.4.2010

## **TAMPEREEN KAUPUNKI VUOREKSEN HULEVESIEN HALLINNAN YLEISSUUNNITELMAN PÄIVITYS JA HULEVESIMALLINNUS**

### **1 JOHDANTO**

#### **1.1 Lähtökohdat**

Vuoreksen alueelle on laadittu vuosien saatossa useita hulevesien hallintaan liittyviä selvityksiä ja suunnitelmia ja ensimmäiset hallintamenetelmät on alueelle jo rakennettukin. Alueelle suunniteltujen hulevesien hallintatoimenpiteiden on tarkoitus muodostaa yhdessä monimuotoinen järjestelmä, jossa erilaiset menetelmät kytkeytyvät toisiinsa muodostaen hulevesien hallintaketjun, joka alkaa huleveden muodostumisalueilta ja päättyy purkuvesistöön.

Hallintaketjun toimivuuden edellytyksenä on, että kaikki ketjun osat on suunniteltu ja mitoitettu tarkoituksensa mukaisesti. Erittäin tärkeäksi asia muodostuu toisiinsa kytkeytyvien valuma-alueiden menetelmien kohdalla, joiden mitoitussvirtaumat ja vesimäärät ovat suuria. Vuoreksen tapauksessa tähän asti tehty suunnitelmat on aina pyritty sovittamaan yhteen mahdollisimman hyvin, mutta varsinaista koostetta tai yleissuunnitelman päivitystä ei ole tehty.

Tässä projektissa, *Vuoreksen hulevesien hallinnan yleissuunnitelman päivitys ja hulevesimallinnus*, on koottu yhdeksi päivitetyksi yleissuunnitelmaksi kaikki Koukkujärven ja Virolaisten laskuojan valuma-alueille tähän mennessä laaditut hulevesien hallintasuunnitelmat. Tämän pohjalta on tietokoneohjelmalla rakennettu hulevesimalli, jolla voidaan arvioida koko järjestelmän toimivuutta erilaisilla sadetapahtumilla. Tietokonemalli on rakennettu US EPA:n (United States Environmental Protection Agency) SWMM 5.0 (Storm Water Management Model) -ohjelmalla.

#### **1.2 Projektiorganisaatio**

Vuoreksen hulevesien hallinnan yleissuunnitelman päivitys ja hulevesimallinnus on tehty konsulttitoimeksiantona FCG Finnish Consulting Group Oy:ssä. Työn on laatinut tekn. yo. Hannes Björninen. Konsulttitoimeksiantona tehtävän työn osuuden laadun varmistuksesta sekä työn ohjauksesta kokonaisuudessaan vastasi dipl.ins. Perttu Hyöty. Työn tilaaja on Tampereen kaupunki, Vuores-projekti ja yhteyshenkilö projektijohtaja Pertti Tamminen.

Työssä yhdistyivät myös FCG:n oma kehitysprojekti sekä Björnisen opinnäytetyö Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) Rakennustekniikan laitokselle. Opinnäytetyö koostuu tässä raportissa esitetystä Vuoreksen hulevesien hallinnan yleissuunnitelman päivityksestä ja hulevesimallinnuksesta (soveltava osio) sekä Björnisen omalla ajallaan tekemästä teoriaosuudesta. Kevään 2010 aikana valmistuvaan teoriaosuuteen liittyy myös FCG:n kehitysprojekti.

#### **1.3 Käsitteitä**

*Valunnalla* tarkoitetaan sitä osaa sadannasta, joka virtaa vesistöä kohti maan pinnalla, maaperässä tai kallioperässä. *Hulevesillä* tarkoitetaan rakennetuilta alueilla muodostuvaa, sade- tai sulamisvesien aiheuttamaa pintavaluntaa.

Luonnontilaisia alueita rakennettaessa veden normaali kiertokulku häiriintyy johtuen luontaisen kasvillisuuden sekä vettä pidättävän maan pintakerroksen poistamisesta, painanteiden tasaamisesta ja heikosti vettä läpäisevien pintojen rakentamisesta. Veden haihdunta- ja imeytymismahdollisuuksien heikentyessä ja pintojen virtausvastuksen vähentyessä veden pintavalunta nopeutuu. Lisääntynyt ja nopeutunut pintavalunta huuhtoo valumapinnoilta mukaansa enemmän erilaisia epäpuhtauksia, kuten kiintoainesta, ravinteita sekä

bakteereita. Hulevedet ja muu pintavalunta on perinteisesti koottu ojilla ja sadevesiviemäreillä ja johdettu pois rakennetuilta alueilta mahdollisimman nopeasti ja tehokkaasti kosteuden aiheuttamien haittojen ehkäisemiseksi. Tästä voi seurata useita ongelmia, kuten vesistöihin kohdistuvan epäpuhtauskuormituksen kasvua, eroosiota purku-uomissa, pohjavedenpinnan alenemista sekä kasvien ja eläinten elinolojen huononemista<sup>1</sup>.

Hulevesien aiheuttamien haitallisten vaikutusten ehkäisemiseksi on suunniteltu vaihtoehtoisia hallintamenetelmiä, joilla hulevesien määrää ja laatua pyritään kontrolloimaan siten, että veden kiertokulku alueella rakentamisen jälkeen olisi mahdollisimman paljon luonnontilaisen kaltainen. Keinoja hulevesien hallintaan ovat mm.

- päällystettyjen pintojen minimoiminen
- syntyneiden hulevesien imeyttäminen maaperään
- epäpuhtauksien vähentäminen hulevesistä suodattamalla, laskeuttamalla ja kasvillisuuden avulla
- hulevesien viivyttäminen, eli pintavalunnan jakaminen pitkälle ajanjaksolle

Hulevesien vaihtoehtoisten hallintamenetelmien toteuttaminen vaatii perinteiseen sadevesiviemäröintiin verrattuna enemmän tilaa ja niiden kustannukset etenkin ylläpidon osalta ovat sadevesiviemäröintiä suuremmat. Tästä johtuen vaihtoehtoiset hallintamenetelmät soveltuvat parhaiten uusille rakennettaville alueille, joissa niiden asettamat vaatimukset voidaan parhaiten ottaa huomioon.

---

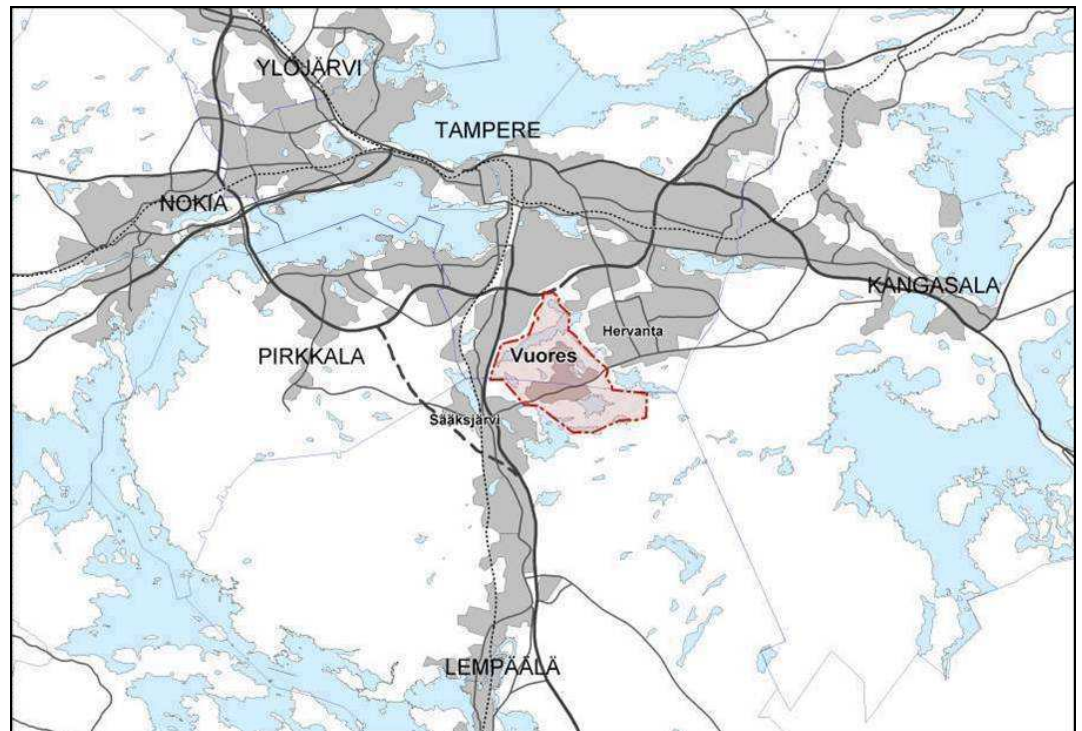
<sup>1</sup> US EPA. 1999. Preliminary data summary of urban storm water best management practices. EPA-821-R-99-012. Washington D.C.

## 2 SELVITYSALUE

### 2.1 Alueen kuvaus

#### 2.1.1 Yleistä

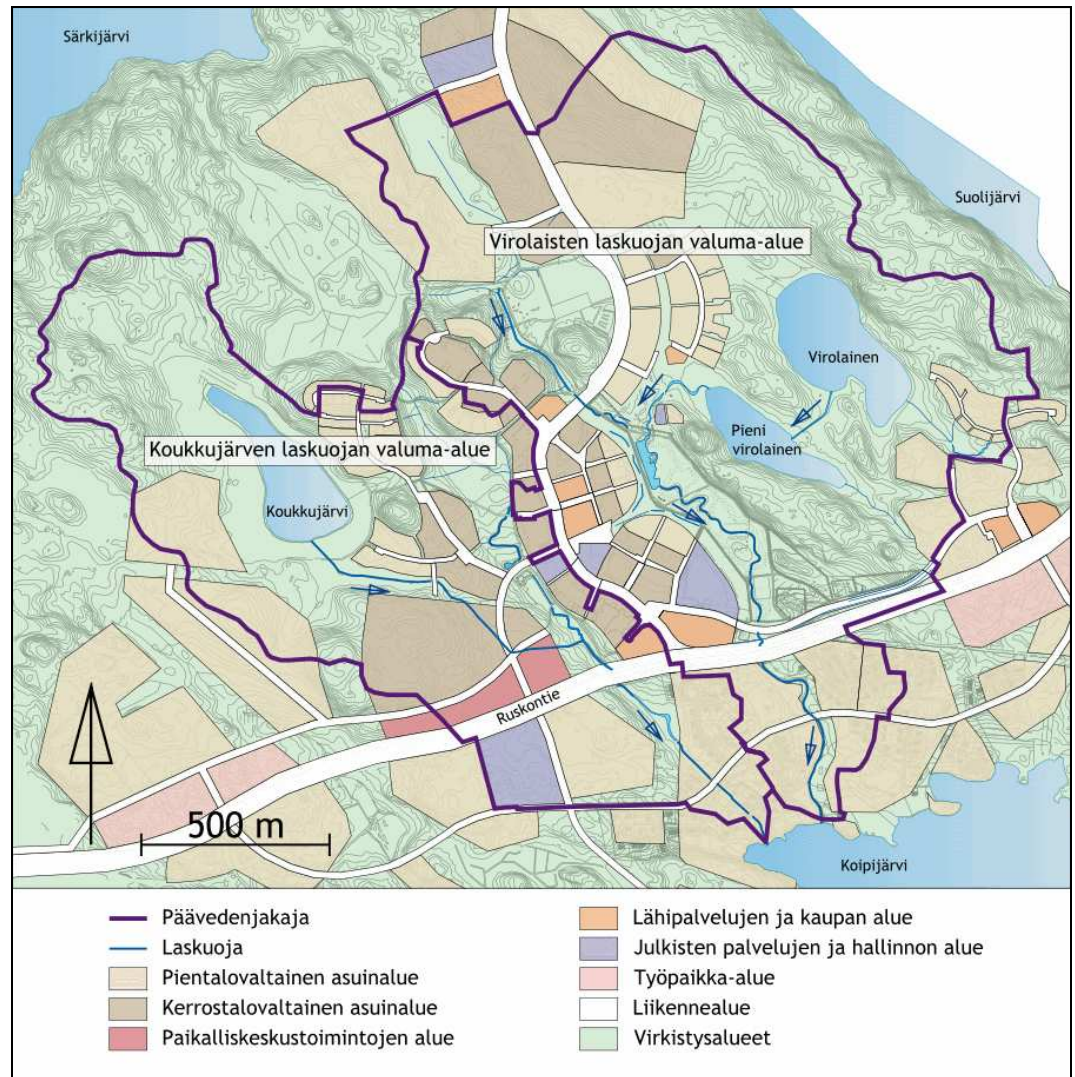
Vuoreksen osayleiskaava-alue sijaitsee Tampereen kaupungin ja Lempäälän kunnan rajalla, Hervannan länsipuolella. Osayleiskaava-alue sisältää pientalo- ja kerrostalovaltaisia asuinalueita, työpaikka-alueita sekä keskustatoimintoja. Vuoteen 2015 mennessä alueelle on suunniteltu rakennettavan asunnot yli 13 000 asukkaalle ja toimitilat 3000–5000 työpaikalle. Vuoreksen sijainti kaupunkirakenteessa on esitetty *kuvassa 1*.



**Kuva 1.** Vuoreksen sijainti kaupunkirakenteessa. © Tampereen kaupunki

Tässä raportissa käsiteltävä selvitysalue muodostuu kahdesta Vuoreksen päävaluma-alueesta, joista läntisempää kutsutaan tässä yhteydessä Koukkujärven laskuojan valuma-alueeksi ja itäisempää Virolaisten laskuojan valuma-alueeksi. Yhdessä ne käsittävät koko Vuoreksen keskustan sekä suurimman osan sitä ympäröivistä asemakaava-alueista. Molemmilta päävaluma-alueilta vedet kerääntyvät niiden latvaosissa oleviin järviin ja järvien laskuojiin. Laskuojat purkautuvat Vuoreksen eteläpuolella sijaitsevaan Koipijärveen, joka on osa seudullisen keskusjärven, Höytämönjärven, valuma-alueita.

Selvitysalueen raja, sen päävalumareitit ja tuleva maankäyttö on esitetty *kuvassa 2*. Maankäytön osalta kuvassa on yhdistetty Vuoreksen osayleiskaavan ja eri asemakaavojen tietoja siinä tarkkuudessa kuin niitä oli työtä aloitettaessa saatavilla. Maankäyttöön liittyvät aluerajaukset on esitetty myös *liitteenä 2* olevassa valuma-aluekartassa.



**Kuva 2.** Selvitysalueen kaksi päävaluma-aluetta, niiden päävalumareitit ja tuleva maankäyttö.

### 2.1.2 Rakentamattoman tilan maankäyttö ja selvitysalueen maaperä

Nykytilassa selvitysalue koostuu pääosin rakentamattomasta metsästä ja suoalueista. Lisäksi alueella on vanhoja viljelysmaita tulevan Vuoreksen keskuspuiston kohdalla, Virolaisen ja Pienen Virolaisen pohjoisrannoilla sekä Annistossa. Ruskontien eteläpuolella, Annistossa on jonkin verran asutusta Vanhan Hervannantien ympäristössä. Ruskontien pohjoispuolella sijaitsee vain yksittäisiä vanhoja asuinkiinteistöjä. Ilmakuva selvitysalueesta rakentamattomassa tilassa on nähtävissä *kuvassa 3*.

Alueen maa- ja kallioperä on muodoiltaan vaihtelevaa ja sitä luonnehtivat ohuen moreenikerroksen peittämät, monin paikoin jyrkkärinteiset kallioselänteet. Selänteiden korkeimmissa kohdissa esiintyy avokallioita. Alavilla alueilla, etenkin järvien ja laskuojien läheisyydessä on laajojakin savi- ja turveesiintymiä. Vuoreksen alueella rakentamiseen osoitettujen alueiden pinnan kaltevuudet vaihtelevat pääosin välillä 1–4 %. Esimerkiksi Vuoreskeskuksessa keskimääräinen pinnan kaltevuus on noin 2 %. Metsäisillä rinteillä kaltevuudet ovat kuitenkin monin paikoin huomattavasti rakennettuja alueita suurempia. Korkeusaineistoina käytettiin Tampereen kaupungin toimittamaa pohjakarttaa (metrin korkeuskäyrillä), Vuoreksen alueen laserkeilausaineistoa sekä nykyisiä ojia ja rumpuja kuvaavia mittausaineistoja.





**Kuva 3.** Selvitysalue kuvattuna Koipijärven suunnasta pohjoiseen. Kuvan etualalla Anniston alue ja keskellä tuleva Vuoreskeskuksen alue. © Tampereen kaupunki

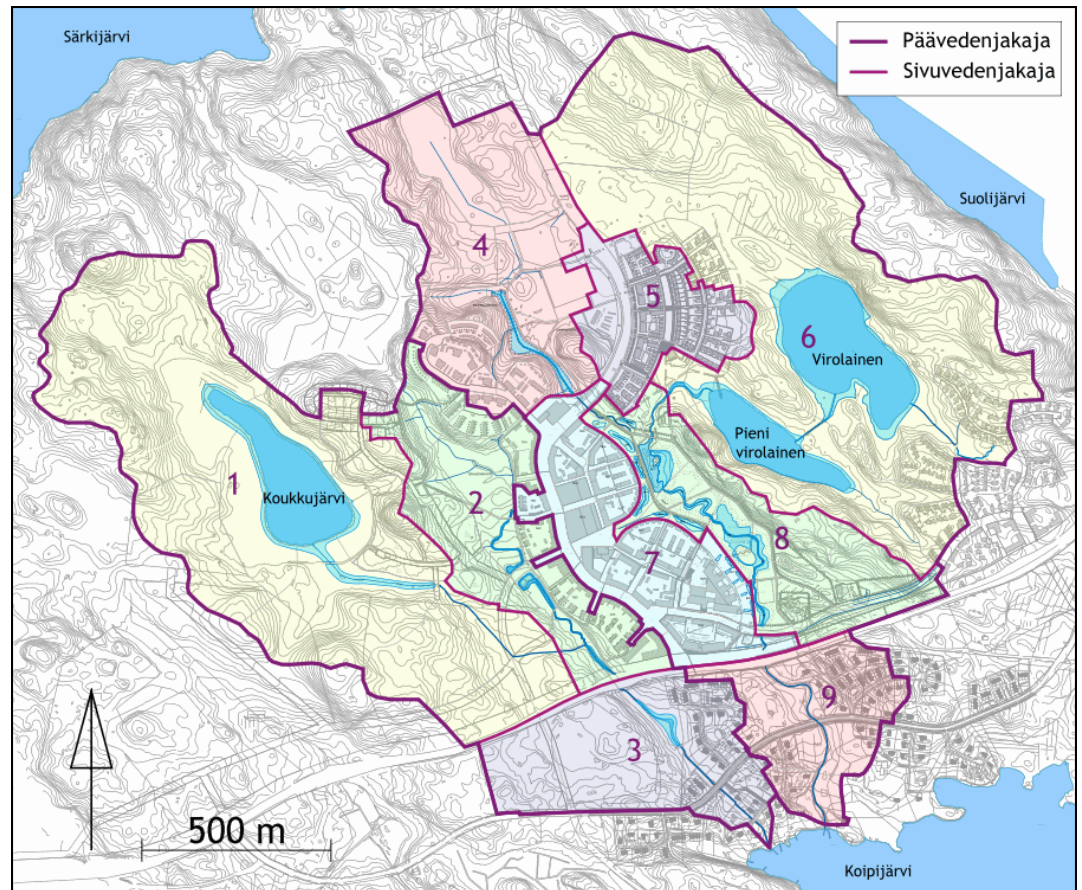
### 2.1.3 Osa-alueet

Selvitysalue on jaettu tarkastelua varten yhdeksäksi toiminnalliseksi osa-alueeksi valumareittien tai vallitsevan maankäytön mukaan. Osa-alueet 1–3 muodostavat Koukkujärven laskuojan päävaluma-alueen ja 4–9 Virolaisten laskuojan päävaluma-alueen. Osa-alueet on esitetty kartalla *kuvassa 4* ja niiden perustiedot on koottu *taulukkoon 1*. Osa-alueet ovat nähtävissä myös *liitteenä 2* olevassa yksityiskohtaisemmassa valuma-aluekartassa.

Koukkujärven laskuojan päävaluma-alue muodostuu Ruskontien pohjoispuolella kahdesta erillisestä valuma-alueesta. Nykytilassa varsinainen Koukkujärven laskuoja (osa-alue 1) hallitsee aluetta, mutta tulevassa tilassa Vuoreskeskuksen länsipuiston valuma-alueen (osa-alue 2) merkitys kasvaa tiiviistä rakentamisesta johtuen. Koukkujärven laskuoja ja Vuoreskeskuksen länsipuiston valuma-alue yhdistyvät hieman Ruskontien pohjoispuolella.

Myös Virolaisten laskuojan päävaluma-alue muodostuu latvaosissaan kahden selvästi erillisen laskuojan valuma-alueista: Pilkkakuusen laskuojan valuma-alueesta (osa-alue 4) ja Virolaisten laskuojan valuma-alueesta (osa-alueet 5 ja 6). Näistä Pilkkakuusen valuma-alue jää Vuoreksen puistokadun pohjois- ja länsipuolelle ja purkaa vedet Vuoreksen keskuspuistoon luoteesta. Virolaisten laskuojan latvaosat jäävät Vuoreksen puistokadun itäpuolelle ja niiden vedet kerääntyvät Virolainen ja Pieni virolainen -järviin ennen kuin ne purkavat vettä Vuoreksen keskuspuistoon koillisesta. Vuoreksen keskuspuiston (osa-alue 8) pohjoisreunassa laskuojat yhdistyvät suuremmaksi avouomaksi, varsinaiseksi Virolaisten laskuojaksi.

Tässä raportissa maininnat osa-alueista viittaavat aina *taulukossa 1* esitettyyn osa-aluejakoon – eivät aikaisemmissa suunnitelmissa esitettyihin aluejakoihin. Mallinnuksessa käytetty pienvaluma-aluejako on käsitelty *kappaleessa 3.2*.



**Kuva 4.** Selvitysalueen osa-alueet numeroituna 1–9.

**Taulukko 1.** Selvitysalueen osa-alueet.

Osa-alue		Pinta-ala
1	Koukkujärven laskuojan pohjoisosat	78 ha
2	Vuoreskeskuksen länsipuisto	25 ha
3	Anniston länsiosat	23 ha
4	Pilkkakuusen laskuoja: Rimmi, Rimminkorpi, Isokuusi	34 ha
5	Virolaisen asemakaava-alue	13 ha
6	Virolaisten valuma-alue	90 ha
7	Vuoreskeskus	22 ha
8	Vuoreksen keskuspuisto	22 ha
9	Anniston itäosat	15 ha

#### 2.1.4 Kaavoitus- ja suunnittelutilanne

Tampereen kaupungin ja Lempäälän kunnan yhteinen Vuoreksen osayleiskaava sai lainvoiman vuonna 2006. Tällä hetkellä asemakaavoitus on keskittynyt Tampereen kaupungin alueelle. Lempäälän kunnan puolella on voimassa vain hyväksytty yleiskaava. Vireillä on hanke Vuoreksen osayleiskaava-alueen Lempäälän puoleisten alueiden myymisestä Tampereen kaupungille.

Työtä tehdessä selvitysalueelle oli vahvistunut viisi asemakaavaa: Mäyränmäen (7970), Virolaisen (8037), Vuoreksen puistokadun (8080), Vuoreskeskuksen länsiosien (8036) sekä Vuoreskeskuksen kaakkoisosat ja keskuspuiston käsittävä asemakaava (8161). Vuoreskeskuksen itäosan asemakaava (8038) Vuoreksen puistokadun varren osalta on ollut nähtävillä, mutta Keskuspuistoon rajoittuvat osat olivat vielä luonnosvaiheessa. Koukkujärven (8263) ja Rimmin (8044) asemakaavoista käytettiin viimeisimpiä kaavaluonnoksia. Vuoreksen keskuspuiston alueella on ollut nähtävillä myös Vuoreksen keskuspuiston alueen asemakaava (8036).



reksen Lempäälän kunnan puoleisista osista oli käytettävissä vain voimassa oleva Vuoreksen osayleiskaava. Sama tilanne oli myös Koukkujärven pohjoispuoleisella Niittyperän alueella sekä Virolaisten pohjoispuolella sijaitsevilla Rimminkorven, Isokuusen ja Pirttisuon alueilla, jotka Tampereen kaupunki asemakaavoittaa myöhemmin.

Katusuunnitelmat ovat valmistuneet Vuoreksen puistokadulle, Mäyränmäen kadulle sekä Virolaisen asemakaava-alueelle. Vuoreskeskuksen osalta käytettiin uusimpia katusuunnitelmaluonnoksia. Katusuunnitelmista huomioitiin tässä yhteydessä katujen viettosuunnat ja suunnitellut kuivatusjärjestelyt.

Vuorekseen on laadittu vesihuollon yleissuunnitelma<sup>2</sup> vuonna 2004. Tämän jälkeen siitä on laadittu päivitys vuonna 2007 ja uusin päivitys valmistuu kevään 2010 aikana. Vesihuollon yleissuunnitelmassa ei ole käsitelty sadevesien johtamista, vaan sadevesien johtaminen ja käsittely on suunniteltu katusuunnitelmien ja erillisten hulevesien hallintasuunnitelmien yhteydessä.

## **2.2 Hulevesien hallintasuunnitelmat selvitysalueella**

### **2.2.1 Hulevesien hallinnan yleiset periaatteet Vuoreksessa**

Koko Vuoreksen alueella vallitsevat yhdenmukaiset hulevesien hallinnan periaatteet ja tavoitteet. Yksittäisten järjestelmien kohdalla hallinnalle asetetut tavoitteet ovat kuitenkin vaihdelleet suunnittelun eri vaiheissa, mistä johtuen joillekin alueille on tehty vuosien saatossa päällekkäisiä, tavoitteiltaan eroavia suunnitelmia. Nykyiset hulevesien hallinnan tavoitteet Vuoreksessa ovat, että hulevesivirtaamat valuma-alueiden purkureiteillä säilytetään rakentamista edeltävällä tasolla määritettyyn toistuvuuteen asti, ja että hulevesien laatua saadaan parannettua. Näillä tavoitteilla pyritään turvaamaan valuma-alueiden sisäinen vesitasapaino sekä alapuolisten vesistöjen, etenkin Koipijärven, veden laatu. Tavoitteeseen pääsemiseksi hulevesien muodostumista pyritään ehkäisemään jo niiden syntypaikalla minimoimalla vettä läpäisemättömien pintojen määrä rakennetuilla alueilla. Tämän lisäksi toteutetaan sekä korttelikohtaista että alueellista hulevesien hallintaa.

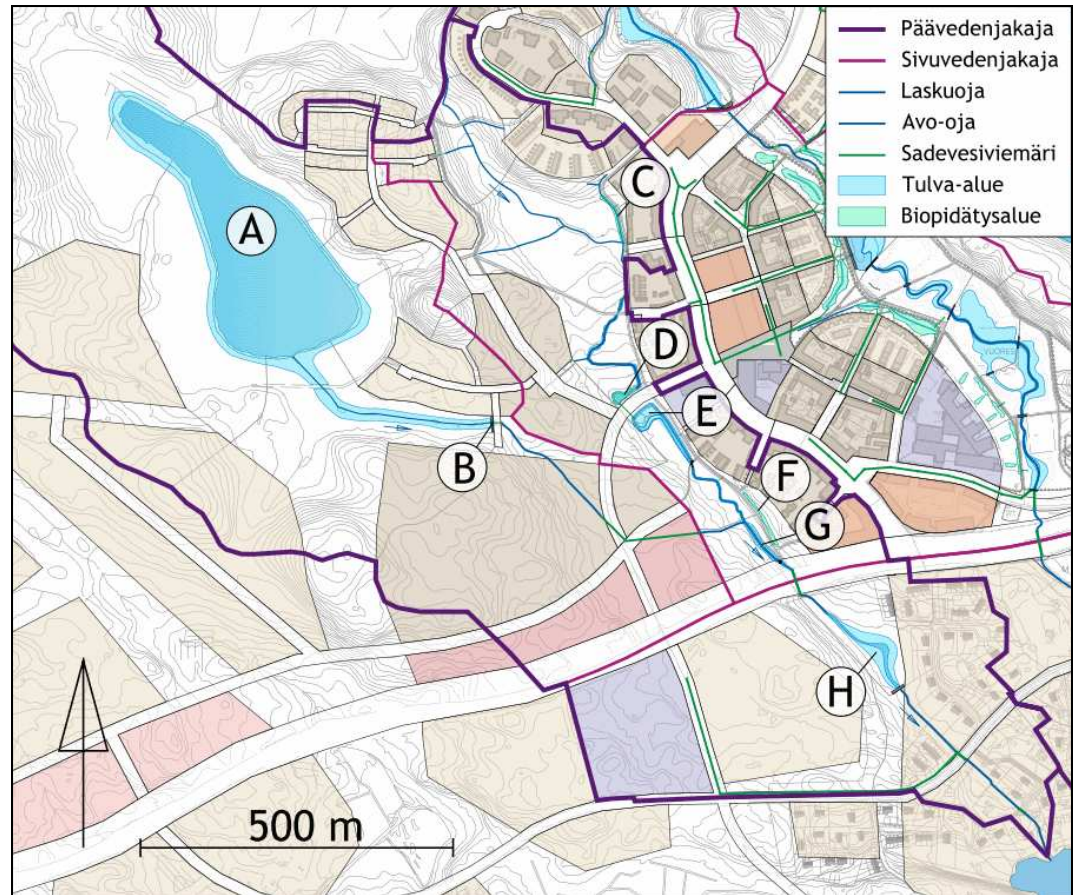
Hulevesiä tulee viivyttää ja käsitellä korttelikohtaisin menetelmin kaikissa Vuoreksen asuin-, liike- ja palvelukortteleissa joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta. Korttelikohtaista hulevesien hallintaa ohjataan kaavamääräyksellä *hule-9*, joka velvoittaa viivyttämään vettä läpäisemättömiltä pinnoilta muodostuvia hulevesiä korttelin sisällä. *Hule-9* -määräyksen mukaisesti korttelialueille sijoitettavien viivytyspainanteiden, -altaiden tai -säiliöiden mitoitustilavuuden tulee olla yksi kuutiometri jokaista sataa vettä läpäisemättömä pinta-alaosuutta kohden, niiden viivytustilavuuden tulee tyhjentyä 12 tunnin kuluessa täyttymisestään ja niissä tulee olla suunniteltu ylivuoto.

Korttelikohtaisia hulevesien hallintamenetelmiä täydennetään alueellisilla hulevesien hallintajärjestelmillä kuten hulevesiä puhdistavilla suodatuspainanteilla sekä hulevesivirtaamia rajoittavilla ja hulevesimääriä hallitsevilla viivytyspainanteilla ja hulevesialtailla. Hulevesialtaiden suunnittelussa lähtökohtana on säilyttää luonnollinen, altaan läpäisevä perusvirtaama, mutta padottaa tämän ylittävä osuus tulva-alueelle. Myös altaiden ja suodatuspainanteiden osalta noudatetaan pääosin suositusta 12 tunnin tyhjenemisajasta.

<sup>2</sup> Suunnittelukeskus Oy. 2004. Vuoreksen vesihuollon yleissuunnitelma.

## 2.2.2 Hulevesien hallinta Koukkujärven laskuojan valuma-alueella

Koukkujärven laskuojan valuma-alueelle suunniteltujen hulevesien hallintajärjestelmien sijainnit on esitetty *kuvassa 5* ja järjestelmät on kuvattu *taulukossa 2*. Tarkemmin järjestelmät on esitetty *liitteenä 1* olevassa yleissuunnitelmaportissa.



**Kuva 5.** Hallintajärjestelmät Koukkujärven laskuojan valuma-alueella.

**Taulukko 2.** Hallintajärjestelmät Koukkujärven laskuojan valuma-alueella.

Hulevesien hallintajärjestelmä	
<b>A</b>	Koukkujärven tulva-alue
<b>B</b>	Koukkujärven säätöpato
<b>C</b>	Biopidätysalue
<b>D</b>	Koipitaipaleenkadun biopidätysalue
<b>E</b>	Koipitaipaleenkadun hulevesiallas
<b>F</b>	Biopidätysalue
<b>G</b>	Ruskontien tulvatasanne
<b>H</b>	Anniston hulevesiallas

Vuonna 2008 laaditussa hulevesien hallinnan yleissuunnitelmassa<sup>3</sup> Koukkujärven laskuojan valuma-alueen hulevesien hallinta on suunniteltu siten, että virtaamia säädellään kahdessa pisteessä, heti Koukkujärven eteläpuolella (osa-alueella 1) sekä Anniston kylän länsipuolella (osa-alueella 3). Suunnitelmassa esitetään, että Koukkujärven eteläpuoleisella säätöpadolla (B) rajoitetaan Koukkujärven purkuvirtaamaa siten, että sallitaan perusvirtaama 100 l/s ja

<sup>3</sup> FCG Planeko Oy. 2008. Koukkujärvi–Koipijärvi hulevesien hallinnan yleissuunnitelma. 0155-D1505. Loppuraportti. 22.10.2008.

tämä ylittämä osuus padotetaan Koukkujärveen (A). Tämä ei kuitenkaan riitä pitämään hulevesivirtaamia tavoitellulla nykytilanteen tasolla koko Koukkujärven laskuojan valuma-alueella, koska valtaosa rakentamisesta sijoittuu järven alapuolelle. Siksi virtaamien hallintaan on keskitytty erityisesti valuma-alueen alaosissa, Ruskontien eteläpuoleisella Anniston alueella. Annistoon on yleissuunnitelmassa esitetty tulva-alueella varustettua hulevesiä viivyttävää allasta (H), jolla rajoitettaisiin huippuvirtaamat tasoon 480 l/s. Viivytysjärjestelmien sijoituspaikat on valittu siten, että ne olisivat mahdollisimman tehokkaita ja toteutuskelpoisia eli järjestelmiin saadaan johdettua mahdollisimman paljon hulevesiä ja itse järjestelmät edellyttävät mahdollisimman vähän rakentamista.

Edellä mainittujen Koukkujärven ja Anniston hallintajärjestelmien lisäksi Tampereen kaupunki on suunnitellut puistosuunnitelman yhteydessä Vuoreskeskuksen länsipuistoon (osa-alueelle 2) hulevesiä imeyttävän ja viivyttävän järjestelmän. Järjestelmästä on laadittu rakennussuunnitelmat<sup>4</sup> tammikuussa 2010. Järjestelmä on kaksiosainen ja se sijoittuu Koipitaipaleenkadun ympäristöön. Kadun pohjoispuolelle on suunniteltu Koipitaipaleenkadun biopidätysalue (D), jolla käsitellään usein toistuvien sadetapahtumien aiheuttamat virtaamat ja kyetään viivyttämään noin 140 m<sup>3</sup> hulevesiä. Biopidätysalueelle rakennetaan kuivatus, jolla viivytystilavuus saadaan tyhjennettyä alle 12 tunnissa. Biopidätysalueen viivytystilavuuden täytyttyä vedet ohjataan ylivuotokaivon kautta Koipitaipaleenkadun alittavaan rumpuun, joka purkaa vedet kadun eteläpuoleiseen, 1–1,5 metriä syvään Koipitaipaleenkadun hulevesialtaaseen (E). Hulevesiallas on varustettu tulvatasanteella, joka tyhjenee tyhjennysputken kautta noin 12 tunnissa. Altaassa on lisäksi myös rakennettu ylivuoto. Altaassa on tulvatasannetta lukuun ottamatta pysyvä vesipinta.

Vuoreskeskuksen länsipuiston eteläreunaan, Ruskontien pohjoispuolelle on lisäksi suunniteltu Koukkujärven laskuojan yhteydessä oleva tulvatasanne (G), jolla käsiteltäisiin ensisijaisesti alueen rakentamisen aikaisia hulevesiä. Virtaamien rajoitus toteutetaan suotopadolla. Tulvatasanteen hyödyntämistä myös rakentamisen jälkeisessä tilanteessa suunnitellaan. Ruskontien tulvatasanteen jälkeen Koukkujärven laskuoja alittaa Ruskontien nykytilassa B 1200 rummulla. Tulevassa tilassa paikalle sijoittuu Ruskontien alikulkutunneli, jonka kevyen liikenteen väylän reunaosassa Koukkujärven laskuoja tullaan johtamaan.

Koukkujärven laskuojan valuma-alueella kaikissa asuin-, liike- ja palvelukortteleissa on *hule-9* – kaavamääräyksen mukaiset korttelikohtaiset järjestelmät. Vuoreskeskuksen länsiosien kortteille 7619–7624 on laadittu vuonna 2007 korttelikohtaiset hulevesien hallintasuunnitelmat<sup>5</sup>. Korttelikohtaisia hallintamenetelmiä on lisäksi täydennetty kevyen liikenteen väylien reunaosiin toteutettavilla biopidätysalueilla (C) ja (F).

### 2.2.3 Hulevesien hallinta Virolaisten laskuojan valuma-alueella

Selvitysalueelta Vuoreksen keskuspuistoon ja sieltä Koipijärveen purkautuva hulevesivirtaama tulee kasvamaan selvästi rakentamisesta johtuen jos hulevesien hallintaa ei suoriteta. Hulevesien aiheuttamien haittojen estämiseksi alueelle esitetään toteutettavaksi useita erityyppisiä hulevesien hallintamenetelmiä. Hallinnan tavoitteena on, että Virolaisten ja Pilkkakuusen valuma-alueilta Vuoreksen keskuspuistoon purkautuva maksimivirtaama ei ylitä viiden vuoden toistuvuudella Vuoreksen keskuspuiston suunnittelussa käytettyä maksimivirtaamaa (530 l/s). Tämä tarkoittaa sitä, että kaikkia tämän maksi-

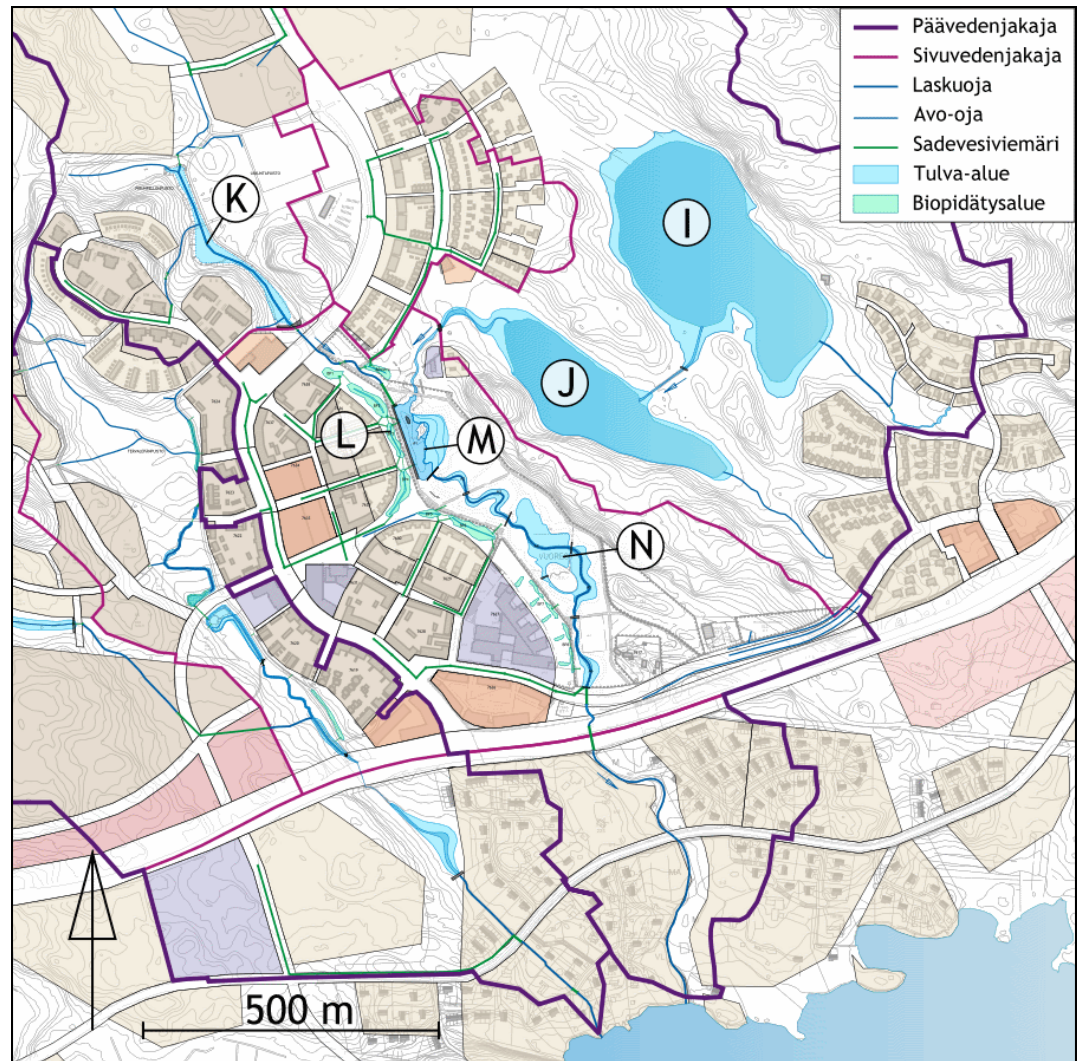
<sup>4</sup> Tampereen kaupunki. 2010. Länsipuiston hulevesijärjestelmän rakennussuunnitelma. 11.1.2010.

<sup>5</sup> FCG Suunnittelukeskus Oy. 2007. Vuoreskeskuksen länsiosan hulevesien hallintasuunnitelma. 0155-C9221. Suunnitelmaselostukset kortteista 7619–7624.



mivirtaaman ylittäviä virtaamapiikkejä on rajoitettava hulevesien viivytys- ja pidätysjärjestelyin. Virtaaman säätelyn lisäksi hulevesien hallintamenetelmillä pyritään pidättämään hulevesistä niiden kuljettamia epäpuhtauksia Koipijärveen kohdistuvan kuormituksen pienentämiseksi.

Virolaisten laskuojan valuma-alueelle suunniteltujen hulevesien hallintajärjestelmien sijainnit on esitetty *kuvassa 6* ja järjestelmät on kuvattu *taulukossa 3*. Tarkemmin järjestelmät on esitetty *liitteenä 1* olevassa yleissuunnitelma-kartassa.



**Kuva 6.** Hallintajärjestelmät Virolaisten laskuojan valuma-alueella.

**Taulukko 3.** Hallintajärjestelmät Virolaisten laskuojan valuma-alueella.

Hulevesien hallintajärjestelmä	
<b>I</b>	Virolaisen tulva-alue ja säätöpato
<b>J</b>	Pieni virolaisen tulva-alue ja säätöpato
<b>K</b>	Pilkkakuusen hulevesiallas
<b>L</b>	Vuoreskeskuksen biopidätysalueet 1–8 puiston reunassa koko matkalla
<b>M</b>	Vuoreksen keskuspuiston hulevesijärjestelmä: tekojärvi (allas 1)
<b>N</b>	Vuoreksen keskuspuiston hulevesijärjestelmä: tulva-alueet (altaat 2–6)

### *Virolaisten ja Pilkkakuusen valuma-alueet*

Virolaisten ja Pilkkakuusen valuma-alueiden (osa-alueet 4–6) hulevesien hallinnan yleissuunnitelmassa<sup>6</sup> hulevesien hallinta on esitetty toteutettavaksi hajautettuna järjestelmänä. Siinä virtaamansäätely toteutetaan viheralueille sijoitettavilla tulva- ja kosteikkoalueilla sekä Virolainen ja Pieni virolainen järvissä niiden yhteyteen asennettavilla säätöpadoilla. Lisäksi rakennetuilla alueilla toteutetaan korttelikohtaisia hulevesien hallintamenetelmiä, joilla hallitaan sademäärältään alhaisten sadetapahtumien aiheuttamat hulevesivirtaamat sekä poistetaan hulevesistä epäpuhtauksia.

Rimmin asemakaava-alueella hallitaan Pilkkakuusen laskuojan valuma-alueen hulevedet ennen niiden johtamista Vuoreksen keskuspuistoon ja Virolaisten laskuojaan. Rimmin asemakaava-alueelle on laadittu hulevesien hallinnan yleissuunnitelma<sup>7</sup>. Työssä suunniteltiin *hule-9* -asemakaavamääräyksen mukaiset hulevesien hallintamenetelmät sekä tarkasteltiin hulevesien johtamissuuntia. Rimmin asemakaava-alueelle sijoittuu myös alueellinen, koko Pilkkakuusen laskuojan valuma-alueen hulevesien ja pintavalunnan hallitsemiseen tarkoitettu hulevesiallas. Tämän ns. Pilkkakuusen hulevesialtaan tarkoituksena on säädellä valuma-alueelta Vuoreksen Keskuspuistoon purkautuvaa virtaamaa siten, että virtaama säilyy rakentamista edeltäneellä tasolla. Mitoitusperusteena on kerran viidessä vuodessa toistuva sadetapahtuma. Altaaseen johdetaan suuri osa myös Rimmin asemakaava-alueella muodostuvista hulevesistä joko korttelikohtaisen käsittelyn jälkeen tai katualueiden tapauksessa suoraan.

Virolaisen kaakkoispuolella sijaitsevalle Mäyrämäen asuinalueelle, Mäyrämäenpuistoon on suunniteltu Mäyrämäenpuiston vihersuunnitelman<sup>8</sup> yhteydessä pienimuotoinen hulevesiä viivyttävä ja virtausnopeuksia alentava järjestelmä.

### *Vuoreskeskus ja Vuoreksen keskuspuisto*

Atelier Dreiseitl on laatinut Vuoreksen keskuspuiston sekä sinne sijoittuvan hulevesijärjestelmän yleissuunnitelman, joka valmistui vuonna 2008. Atelier Dreiseitl on laatinut myös Vuoreksen keskuspuiston puistosuunnitelman, joka valmistuu alkuvuonna 2010.

Vuoreskeskuksen alueella hulevedet hallitaan yleisten periaatteiden mukaisesti korttelikohtaisilla *hule-9* -viivytyjärjestelmillä. Poikkeuksen muodostavat Vuoresaukion pohjoispuoleiset, pienivaluma-alueille 7.5 ja 7.9 sijoittuvat liikerakennusten korttelialueet (KM-2), joille ei ole asetettu *hule-9* -kaavamääräystä. Vuoreskeskuksen kortteleista vedet kerätään sadevesiviemäriverkolla ja johdetaan Vuoreskeskuksen itäreunassa sijaitseville biopidätysalueille. Biopidätysalueilta vedet johtuvat maakerrosten läpi suotautumalla tai tulvatilanteessa rakennettujen ylivuotokaivojen kautta Vuoreksen keskuspuiston hulevesijärjestelmään. Vuoreksen keskuspuiston hulevesijärjestelmä muodostuu tekojärvestä ja sen alapuolisista viidestä, säätöpadoin varustetusta tulva-alueesta. Tulva-alueiden läpi virtaa vaihtelevaksi muotoiltu, uusi Virolaisten laskuoja, jolla pyritään virtausnopeuksien hidastamiseen.

<sup>6</sup> FCG Planeko Oy. 2008. Virolaisten ja Pilkkakuusen valuma-alueiden hulevesien hallinnan yleissuunnitelma. 0155-D2189. Loppuraportti. 17.11.2008.

<sup>7</sup> FCG Planeko Oy. 2008. Rimmin asemakaava-alueen hulevesien hallinnan yleissuunnitelma. 0155-D1985. Suunnitelmaselostus. 6.11.2008.

<sup>8</sup> Tampereen kaupunki. 2008. Mäyrämäenpuiston vihersuunnitelma.

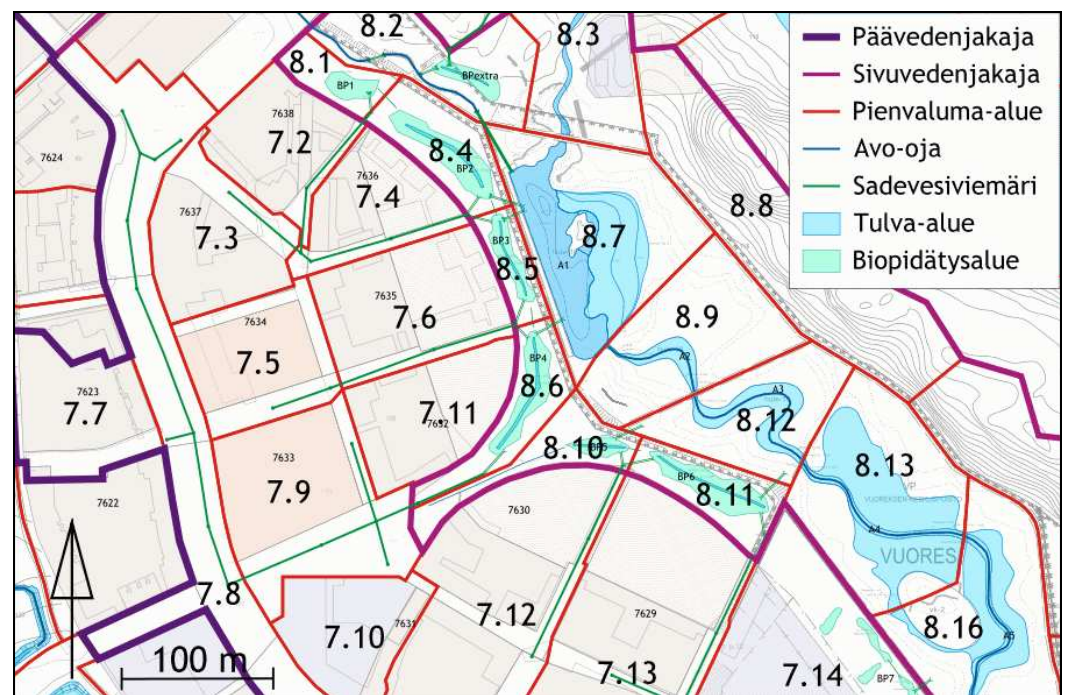
### 3 HYDROLOGINEN MALLI

#### 3.1 Mallin kuvaus

Hydrologinen mallinnus suoritettiin US EPA:n (United States Environmental Protection Agency) SWMM (Storm Water Management Model) -ohjelmalla. Hydrologisella mallilla kuvataan valuma-alueilla tapahtuvia hydrologisia ilmiöitä – erityisesti valuma-alueelta muodostuvan pintavalunnan määrää ajan suhteen. Hydrologinen malli perustuu syötteenä olevaan sadetapahtumaan ja valuma-alueiden ominaisuuksista johtuvien sadannan häviöiden laskemiseen. Hydrologisen mallin tuloksena saadaan valuma-aluekohtaiset purkautumiskäyrät, jotka toimivat syötteenä hydrauliselle verkostomallille.

#### 3.2 Pienvaluma-alueet

Hydrologista mallinnusta varten tarkasteltavat päävaluma-alueet jaettiin useiksi pienemmiksi pienvaluma-alueiksi. Koukkujärven laskuojan valuma-alue jaettiin 41 pienvaluma-alueeksi ja Virolaisten laskuojan valuma-alue 76 pienvaluma-alueeksi. Ote laaditusta pienvaluma-aluejaosta Vuoreskeskuksessa on esitetty kuvassa 7.



**Kuva 7.** Ote pienvaluma-aluejaosta Vuoreskeskuksessa.

Jako tehtiin tulevan maankäytön, tiedossa olevien tasauksien sekä luonnollisten vedenjakajien perusteella siten, että jokainen merkittävä verkoston haara tai maankäytöltään yhdenmukainen alue muodostaa oman pienvaluma-alueen. Jakoa tihennettiin tiiviisti rakennetuilla alueilla sekä hulevesien hallintajärjestelmien läheisyydessä. Esitettyä pienvaluma-aluejakoa voidaan pitää yleissuunnitelman luonne huomioiden hyvin yksityiskohtaisena ja sillä pystytään tarkastelemaan muodostuvia hulevesivirtaamia ja valumareittien välityskykyä tarkasti useissa eri pisteissä. Todellisuudessa kunkin pienvaluma-alueen sisälle jää edelleen pienempiä vedenjakajia, joten pienvaluma-aluejakoa olisi mahdollista tarkentaa vielä nyt esitetystä. Tarkemmalla jaolla saavutettavat hyödyt yleissuunnitteluvaiheessa jäisivät kuitenkin vähäisiksi, koska monet selvitysalueen kaavat ja suunnitelmat ovat vasta luonnosvaiheessa. Muodostetut pienvaluma-alueet ja päävirtausreitit on esitetty kokonaisuudessaan *liitteenä 2* olevassa valuma-aluekartassa.

### 3.3 Mallinnuksessa käytetyt sateet

Mallinnuksessa on käytetty Rankkasateet ja taajamatulvat (RATU)<sup>9</sup> loppuraportin mukaisia, tarkistettuja sateen keskimääräisiä intensiteettejä 1 km<sup>2</sup> aluesadannalle. Sadetiedot perustuvat Suomessa kesällä vuosien 2000–2005 aikana tehtyihin tutkasadehavaintoihin. Mallinnuksessa käytettyjen sateiden keskimääräisiä intensiteettejä ja sademääriä on koottu *taulukkoon 4*.

**Taulukko 4.** Käytettyjen sateiden keskimääräisiä intensiteettejä (1km<sup>2</sup>).

Kesto	Toistuvuus	Keskimääräinen intensiteetti		Sademäärä
1 h	1/1a	0,18 mm/min	30 l/s*ha	11 mm
	1/5a	0,31 mm/min	51 l/s*ha	18 mm
	1/10a	0,36 mm/min	61 l/s*ha	22 mm
	1/100a	0,60 mm/min	100 l/s*ha	36 mm
2 h	1/1a	0,12 mm/min	19 l/s*ha	14 mm
	1/5a	0,19 mm/min	32 l/s*ha	23 mm
	1/10a	0,23 mm/min	38 l/s*ha	27 mm
3 h	1/1a	0,09 mm/min	15 l/s*ha	17 mm
	1/5a	0,15 mm/min	25 l/s*ha	27 mm
	1/10a	0,18 mm/min	29 l/s*ha	32 mm
6 h	1/1a	0,06 mm/min	9 l/s*ha	20 mm
	1/5a	0,09 mm/min	16 l/s*ha	34 mm
	1/10a	0,11 mm/min	18 l/s*ha	39 mm
24 h	1/1a	0,02 mm/min	4 l/s*ha	30 mm
	1/5a	0,03 mm/min	6 l/s*ha	49 mm
	1/10a	0,04 mm/min	7 l/s*ha	59 mm
	1/100a	0,06 mm/min	10 l/s*ha	86 mm

Mallinnuksessa käytettiin kuuden tunnin ja sitä lyhyempikestoisten sateiden osalta muuttuvan intensiteetin sateita, joissa sateen intensiteetti vaihtelee ajan suhteen sadetapahtuman sisällä. Sateen ajallisena muotona käytettiin synteettistä Chicago Design Storm -jakaumaa (CDS-sade), jonka on todettu soveltuvan kuvaamaan rankkasateiden intensiteetin ajallista vaihtelua kohtuullisen hyvin. Tässä suunnitelmassa käytetty CDS-sateen jakauma on muodostettu Tanskalaisen Spildevandskomiteen<sup>10</sup> ohjeiden perusteella ja sovitettu Suomen olosuhteisiin. Intensiteettihiippu on sijoitettu sadetapahtuman puoleen väliin.

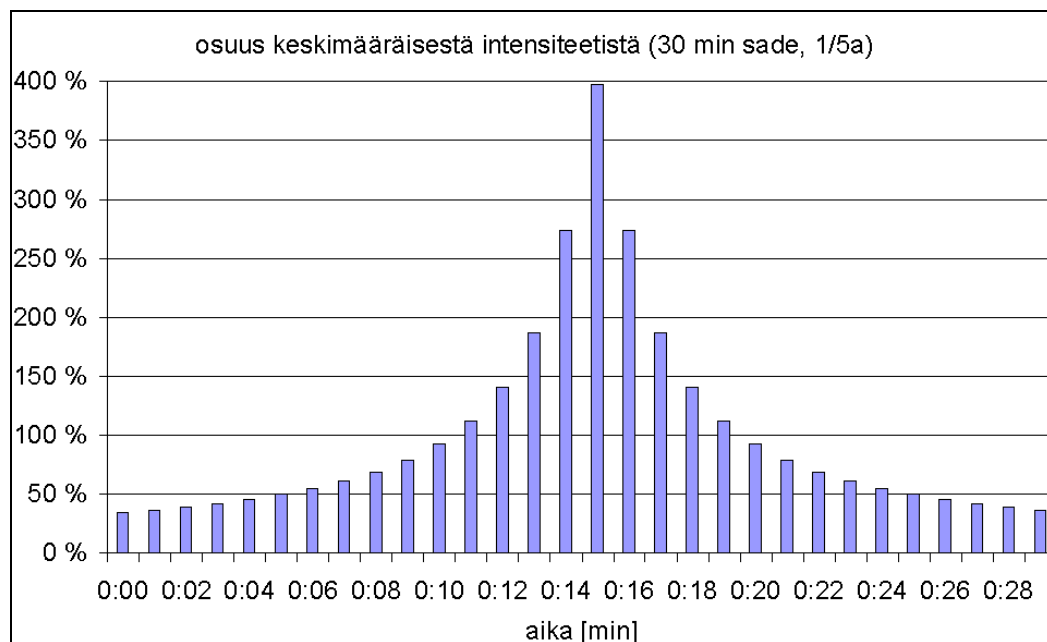
CDS-sateen sademäärä vastaa saman kestoisen tasaisen intensiteetin sateen sademäärää, mutta se jakautuu epätasaisesti muodostaen voimakkaan intensiteettihiipun sadetapahtuman keskivaiheille. CDS-sateen jakauma muuttuu sateen keston pidentyessä siten, että intensiteettihiipun osuus keski-intensiteetistä kasvaa. Puolen tunnin sateella huippuminuutin intensiteetti on noin 400 % keski-intensiteetistä, tunnin sateella noin 600 % ja kahden tunnin sateella noin 1000 %. Näin ollen CDS-sade kuvaa myös varsinaista sateen kestoa lyhyempiä rankkasateita samalla toistuvuudella. Jos esimerkiksi kaksi tuntia kestävästä CDS-sateesta tarkastellaan rankinta 15 minuuttia, niin havaitaan niille lasketun keskimääräisen intensiteetin vastaavan 15 minuutin tasaiselle sateelle määritettyä intensiteettiä samalla toistuvuudella ja sademäärän olevan vastaava. CDS-sade antaa kuitenkin pahempia mitoitustilanteita, koska sateen alkuhäntä kastelee pinnat ja täyttää varastotilavuuksia

<sup>9</sup> Aaltonen, J. ym. 2008. Rankkasateet ja taajamatulvat (RATU). Suomen Ympäristö, 31. 123 s.

<sup>10</sup> Spildevandskomiteen. 2005. *Funktionspraksis for afløbssystemer under regn*. Ingeniørforeningen I Danmark – IDA. Spildevandskomiteén skrift nr. 27. 66 s. Kööpenhamina.



jo ennen lyhyen rankkasateen esiintymistä. On myös huomattava, että CDS-sateen aiheuttamat virtaamahuiput ovat lyhytkestoisia ja niitä ei tule sellaiseenaan käyttää esimerkiksi rumpujen mitoitusperusteena. CDS-sateilla pyritään tarkastelemaan ennen kaikkea erikoistilanteita ja järjestelmien toimintaa kokonaisuutena. Esimerkki CDS-sateen jakaumasta 30 minuutin kestoajalla ja viiden vuoden toistuvuudella on esitetty *kuvassa 8*.



**Kuva 8.** Esimerkki Chicago Design Storm -sateen jakaumasta (30 min, 1/5a).

Sateen todellinen ajallinen muoto vaihtelee kuitenkin aina sadetapahtumasta toiseen eikä CDS-sade anna täsmällistä kuvaa sadetapahtumasta. Epävarmuuksista huolimatta CDS-sade kuvaa silti rankkasadetta huomattavasti paremmin kuin perinteinen tasaisen intensiteetin sade. CDS-sateen etuna on, että sen sademäärä on sama kuin vastaavan kestoisella tasaisen intensiteetin sateella, mutta sen sisällä esiintyy silti lyhyt ja rankka intensiteettihiippi. Näin ollen sama sadetapahtuma voi aiheuttaa sekä viivytystilavuuden mitoitettavan tilanteen että suurimman huippuvirtaaman. CDS-sateen käytöllä saadaan verkoston ja hulevesien hallintajärjestelmien ongelmakohdat paremmin esille kuin perinteisillä tasaisen intensiteetin sateilla. CDS-sateen erot tasaisen intensiteetin sateisiin ilmenevät merkittävimmin hetkellisissä huippuvirtaamisissa, kun taas yhtä suuresta sademäärästä johtuen altaiden viivytystilavuuksissa erot jäävät suhteellisen pieniksi.

### 3.4 Pintavalunnan muodostuminen

#### 3.4.1 Käytetyn menetelmän kuvaus

Mallinnusohjelmassa valuma-alueelta muodostuvien hulevesien osuutta sadannasta ei kuvata perinteiseen tapaan valuma-aluekohtaisella valumaker-toimella. Sen sijaan ohjelmassa voidaan erotella läpäisemättömän ja läpäisevän pinnan osuus valuma-alueesta ja käsitellä sadannan häviöt erillisinä muuttujina. Sadannan häviöitä ovat *pidätyminen kasvien pinnoille (intersep-tio)*, *imeyntä*, *haihdunta* ja *painannesäilyntä*. Koska mallinnuksessa häviöt kä-sitellään omina muuttujinaan, malliin syötetään perinteisen valumakertoimen sijasta pienvaluma-aluekohtainen teoreettista läpäisemättömän pinnan osuutta kuvaava TIA (*Total Impervious Area*) arvo. Mallinnuksen yksinkertaistami-seksi on myös mahdollista tehdä joitain yleistyksiä, joita käsitellään seuraa-vaksi.



Rakennetuilla alueilla imeytyminen oletetaan yleisesti pieneksi, koska niillä läpäisemättömien pintojen määrä on suuri ja läpäisevistäkin pinnoista valtaosa on rakennettuja tai muuten häiriintyneitä, jolloin imeytyminen on merkittävästi pienempää kuin luonnontilaisilla alueilla. Imeytymisen maaperään, samoin kuin haihdunnan merkitystä taajamien rankkasadetilanteiden mallinnuksessa pienentävät vesien nopea johtaminen pinnoilta sadevesiviemäriverkoon, sateen suuri intensiteetti ja tarkasteltavan ajanjakson lyhyt kesto, joka on tyypillisesti välillä 10 min – 24 h. Vähäisestä merkityksestä johtuen imeytymistä ja haihduntaa ei usein mallinneta rakennetuilla alueilla yksityiskohtaisesti etenkin yksittäisten rankkasadetilanteiden tarkasteluissa, vaan ne yhdistetään yhdeksi alkuhäviöksi ja käsitellään painannesäilynnän yhteydessä.<sup>11</sup>

Painannesäilynnän merkitys on suuri rankkasadetilanteissakin, joten se huomioidaan tyypillisesti omana muuttujanaan. Painannesäilyntä kuvaa valuma-alueen painanteisiin pidättyvää keskimääräistä hulevesien varastotilavuutta, jonka täyttymisen jälkeen syntyy vasta *tehokasta pintavaluntaa* valuma-alueen purkupisteessä. Painannesäilyntä tyhjenee vain imeyksen ja haihdunnan kautta. Painannesäilyntää esiintyy kaikilla pinnoilla niiden epätasaisuudesta johtuen. Rakentamattomilla pinnoilla painannesäilyntä voi saada hyvinkin suuria arvoja, kun taas tasaisilla betoni tai asfalttipinnoilla painannesäilyntä on erittäin pieni. Painannesäilynnän suuruuteen vaikuttaa pinnan rakentamisasteen lisäksi merkittävästi sen kaltevuus siten, että kaltevuuden kasvaessa painannesäilynnän arvo pienenee. Kuten edellä on todettu, painannesäilynnän arvoon voidaan mallintamisen yksinkertaistamiseksi yhdistää muut sadannan alkuhäviöt. Painannesäilynnän täyttymisen jälkeen esiintyvän tehokkaan pintavalunnan perusteella malli laskee perinteisen valumakertoimen arvon kullekin valuma-alueelle.

Mallinnuksessa painannesäilynnän käsittely omana muuttujanaan on järkevää, koska tällöin pintavalunnan muodostumisessa tapahtuvat viiveet saadaan paremmin esille. Painannesäilynnän täyttymiseen ja veden virtaamiseen painanteesta toiseen kuluu aikaa, jolloin valuma-alueen purkupisteessä esiintyvä hulevesivirtaama viivästyy. Jos painannesäilyntää ei mallinnettaisi omana muuttujanaan, vaan se huomioitaisiin yksinkertaisesti valumakertoimessa, valuma-alueen purkupisteessä esiintyisi hulevesivirtaama heti sadetapahtuman alkamisen jälkeen ilman viivettä. Painannesäilynnän kuvaaminen omana muuttujanaan on myös siinä mielessä järkevää, että tällöin valuma-alueen todellinen valumakerroin muuttuu sademäärän perusteella. Lyhyt sade voi pidättyä painannesäilynnän varastotilavuuteen lähes kokonaan, jolloin valuma-alueen todellinen valumakerroin jää alhaiseksi – kuten todellisuudessa tapahtuisikin. Sen sijaan pitkällä, sademäärältään suurilla sadetapahtumilla painannesäilynnän varastotilavuus täyttyy ennemmin tai myöhemmin. Tämän jälkeen valuma-alueelle satavasta vedestä suurempi osa muuttuu purkupisteessä havaittavaksi hulevesivirtaamaksi, eli valuma-alueen todellinen valumakerroin kasvaa.

Tässä työssä on mitoitustilannetta silmällä pitäen oletettu pintojen ja maaperän olevan kosteat aikaisemmista sadetapahtumista johtuen jo ennen varsinaisen mitoitussateen alkamista. Oletusta voidaan pitää hyvänä, koska sadetutkimusten<sup>12</sup> mukaan on hyvin todennäköistä, että ennen varsinaista rankkasadetta esiintyy lyhyen ajan sisällä toinen sadetapahtuma. Lisäksi on otettu huomioon rakentamiseen kaavoitettujen alueiden maanpinnan keskimääräiset

<sup>11</sup> Becciu, G. & Paoletti, A. 1997. *Random characteristics of runoff in urban catchments*. Water Science and Technology, 36: 8–9. s. 39–44.

<sup>12</sup> Kilpeläinen, T. 2006. *Kesäsateiden imastolliset piirteet Helsingin Kaisaniemessä 1951–2000*. Helsingin yliopisto, matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta, fysikaalisten tieteiden laitos. Pro gradu -tutkielma. 75 s

kaltevuudet ja vallitseva maaperän laatu. Vuoreksessa rakentamiseen kaavoitetut alueet sijaitsevat tyypillisesti joko savipitoisissa, alavissa maaston kohdissa tai jyrkkäpiirteisillä, kallioisilla selänteillä. Näillä alueilla pohjamaa on huonosti vettä läpäisevää, jolloin maaperään imeytyvän veden määrää vähenee merkittävästi. Tehdyt oletukset pienentävät imeytymisestä aiheutuvaa alkuhäviötä, joka muussa tapauksessa olisi sadetapahtuman alussa hetken aikaa suhteellisen suuri. Koska aikaisemmasta sadetapahtumasta johtuen pinnat ovat jo valmiiksi kosteat ja ilmankosteus suuri, voidaan pintojen kastumisesta, interseptiosta ja haihdunnasta aiheutuvat häviöt olettaa hyvin pieniksi. Tehdyistä oletuksista johtuen sadannan alkuhäviö muodostuu mitoitustilanteessa pääasiassa painannesäilynnästä, joka käsitellään mallissa omana muuttujanaan. Kirjallisuudessa esitetyt valumakertoimet tarkoittavat tehokkaan pintavalunnan osuutta sadannasta eli niissä on huomioitu jo alkuhäviöiden kuten painannesäilynnän vaikutus.

Selvitysalueen laajuudesta, tiheästä pienvaluma-aluejaosta ja yleissuunnitelmatasosta johtuen tässä työssä läpäisevien pintojen mallintaminen erikseen ei tullut kysymykseen. Koska sademäärältään suurilla sadetapahtumilla pintavaluntaa syntyy myös läpäiseviltä pinnoista, on niillä ajateltu olevan hieman teoreettista läpäisemätöntä pintaa, jota tässä yhteydessä kuvataan termillä TIA (*Total Impervious Area*). Näin ollen pienvaluma-alueen parametrit on laskettu läpäisevien ja läpäisemättömien pintojen pinta-aloilla painotettuina keskiarvoina. Koska läpäisevien pintojen ominaisuudet on nyt yhdistetty läpäisemättömien pintojen parametreihin, mallissa on poistettu käytöstä varsinaiset läpäiseviä pintoja kuvaavat muuttujat (*Dstore-Perv* ja *N-perv*). TIA-osuus, jolta tässä menetelmässä syntyy kaikki pintavalunta, on asetettu siten, että painannesäilynnän aiheuttaman häviön jälkeen laskettava valumakerroin vastaa kullekin maankäyttötyypille kirjallisuudessa esitettyjä vaihteluvälejä. Näin ollen valumakerroin ei saa vakioarvoa, vaan se riippuu sadannasta – kuten todellisuudessa tapahtuukin.

Edellä kuvattu menettely on mahdollistanut pienvaluma-alueiden yksinkertaisemman kuvaamisen, jolloin rajallisten resurssien puitteissa ja yleissuunnitelman luonne huomioiden on kyetty laatimaan hyvin yksityiskohtainen hulevesimalli. Menetelmän puutteista, epävarmuuksista ja mallinnuksessa tehdyistä yleistyksistä huolimatta laaditulla hulevesimallilla pystytään tarkastelemaan hulevesien hallintajärjestelmien toimintaa erinomaisesti, vähintään yleissuunnitelman tason edellyttämällä tarkkuudella.

### 3.4.2 Läpäisemättömien pintojen määrä

Muodostuvien hulevesimäärien arvioimiseksi selvitysalueelta muodostettiin viisi maankäyttötyyppiä, joiden sisältämien eri pintojen keskimääräiset osuudet arvioitiin esimerkkikohteiden avulla. Kerrostaloalueen esimerkkinä käytettiin Vuoreskeskuksen korttelia 7637, rivitalo- ja pienkerrostaloalueen esimerkkinä Virolaisen korttelia 7658 ja pientaloalueen esimerkkinä Virolaisen korttelia 7660. Tie- ja katualueiden osalta arviot tehtiin Vuoreksen puistokadun perusteella. Puistojen maankäytön arvioinnissa käytettiin niistä laadittuja havainnekuvia. Kultakin pienvaluma-alueelta määritettiin tämän jälkeen karkeasti niiden sisältämien maankäyttötyyppien osuudet pinta-alasta. Määrittäminen tehtiin Tampereen kaupungin puolella vahvistettujen asemakaavojen tai viimeisimpien asemakaavaluonnosten perusteella, mutta Lempäälän kunnan puolella arviointi tehtiin voimassa olevan yleiskaavan perusteella. Rakentamattomien alueiden maankäyttöä arvioitiin ilmakuvien ja kartta-aineiston perusteella. Päälystettyihin pintoihin on laskettu mukaan myös läpäisevät päällysteet kuten kiveykset. Läpäisevät pinnat sisältävät nurmi- ja sorapinnat. Kunkin pinnan on oletettu sisältävän teoreettista läpäisemätöntä pintaa tietty

määrä, jota tässä yhteydessä kuvataan yleisesti käytetyllä termillä TIA (*Total Impervious Area*).

Tarkasteluissa käytetyt pintojen TIA-arvot pohjautuvat Kuusiston (2002) esittämiin arvoihin<sup>13</sup> ja ne on esitetty *taulukossa 5*. Maankäyttötyyppien sisältämät erilaisten pintojen osuudet ja niiden perusteella lasketut TIA-arvot on esitetty *taulukossa 6*. On huomattava, että TIA-arvoilla ei tarkoiteta tyypillisesti esitettyjä valumakertoimia, koska painannesäilyntä huomioidaan tässä yhteydessä erillisenä muuttujanaan. Painannesäilyntän vaikutusta pintavalunnan muodostumiseen käsitellään tarkemmin seuraavassa *kappaleessa 3.4.3*.

**Taulukko 5.** Tarkasteluissa käytetyt läpäisemättömän pinnan osuudet erilaisilla pinnoilla (TIA).

Pinta	TIA
metsä, pelto, suo, niitty	20 %
läpäisevät pinnat, nurmi, sora	40 %
päällystetty pinta, asfaltti	90 %
katto, vesipinta	100 %

**Taulukko 6.** Maankäyttötyyppien sisältämien pintojen osuudet ja niiden perusteella lasketut läpäisemättömän pinnan määrät (TIA).

Maankäyttötyyppi	Katto 100 %	Päällystetty 90 %	Läpäisevät 40 %	Metsä 20 %	TIA
tiet ja kadut	-	90 %	10 %	-	<b>85 %</b>
tiivis kerrostaloalue	50 %	25 %	25 %	-	<b>83 %</b>
tiivis rivitalo- tai pienkerrostaloalue	30 %	15 %	55 %	-	<b>66 %</b>
pientaloalue	20 %	-	80 %	-	<b>52 %</b>
rakennettu puisto	-	-	70 %	30 %	<b>34 %</b>
rakentamaton metsä	-	-	-	100 %	<b>20 %</b>

### 3.4.3 Sadannan häviöt

Sadannan alkuhäviöiden suuruudessa on otettu huomioon tässä työssä tehty mitoitustilanteen oletukset, jotka on käsitelty käytetyn menetelmän kuvauksessa *kappaleessa 3.4.1*. Niiden perusteella ainoaksi merkittäväksi alkuhäviöksi jää mitoitustilanteessa painannesäilyntä. Mallinnuksessa painannesäilyntä käsitellään omana muuttujanaan, joten se tulee pystyä arvioimaan riittävällä tarkkuudella. Tässä työssä erilaisten pintojen painannesäilyntän suuruutta on arvioitu Arnellin tutkimuksessa<sup>14</sup> esitettyjen arvojen perusteella. Tämän jälkeen kullekin maankäyttötyypille on voitu laskea keskimääräinen painannesäilyntän arvo ja edelleen näiden perusteella kullekin pienvaluma-alueelle keskimääräinen painannesäilyntä. Mallinnuksessa käytetyt painannesäilyntän arvot erilaatuisille pinnoille on koottu *taulukkoon 7*. Arvot vaihtelevat asfaltin 0,5 millimetristä rakentamattoman metsän noin 12 millimetriin. Arvojen suuruudessa on otettu huomioon pintojen keskimääräiset kaltevuudet.

Käyttämällä aikaisemmin, *taulukossa 6* esitettyjä maankäyttötyyppien pinta-alajakaumia laskettiin kullekin maankäyttötyypille keskimääräinen painannesäilyntän arvo. Lisäksi Vuoreksessa lähes kaikille rakennusoikeutta sisältä-

<sup>13</sup> Kuusisto, P. 2002. *Kaupunkirakentamisen vaikutus pieniin valuma-alueisiin ja vesistöihin Suomessa*. Helsingin yliopiston maantieteen laitoksen julkaisuja, B48. 69 s. Helsinki.

<sup>14</sup> Arnell, V. 1980. Description and validation of the CTH-urban runoff model. Chalmers University of Technology, Göteborg. 192 s.

ville tonteille on asetettu asemakaavoissa *hule-9*-kaavamääräys, joka edellyttää 10 millimetrin sadantaa vastaavaa viivytystilavuutta tontin läpäisemättömille pinnoille. Maankäyttötyypeille voitiin laskea niiden sisältämien pintojen perusteella keskimääräinen *hule-9*-kaavamääräyksen mukainen viivytystilavuus. Lasketut arvot sekä *hule-9*-järjestelmien kanssa että ilman järjestelmiä on esitetty *taulukossa 8*. Taulukon arvoja on käytetty edelleen laskettaessa kullekin pienvaluma-alueelle keskimääräistä painannesäilyntän arvoa. Hulevesimallissa pienvaluma-alueen painannesäilyntä on sijoitettu teoreettisten läpäisemättömien pintojen painannesäilyntää kuvaavaan *Dstore-Imperv* -kenttään. Koska tämä sisältää myös *hule-9*-viivytystilavuutta, %Zero-Impervious-arvo asetettiin mallissa nolaksi. Muuten vesi ei ohjaudu *hule-9*-järjestelmään.

**Taulukko 7.** Käytetyt keskimääräiset painannesäilyntän arvot erilaisilla pinnoilla niiden keskimääräisillä kaltevuuksilla.

Pinnan laatu	Keskimääräinen painannesäilyntä
vesipinta	0 mm
kattopinnat	0 mm
asfalttipintaiset alueet	0,5 mm
kivetyt alueet	1,5 mm
nurmi- ja sorapintaiset alueet	5 mm
rakentamaton metsä	12 mm

**Taulukko 8.** Maankäyttötyyppien keskimääräiset painannesäilyntän arvot.

Maankäyttötyyppi	Painannesäilyntä ilman hule-9	Painannesäilyntä hule-9 huomioitu
tiet ja kadut	1 mm	1 mm
tiivis kerrostaloalue	2 mm	10 mm
tiivis rivitalo- tai pienkerrostaloalue	3 mm	8 mm
pientaloalue	4 mm	6 mm
rakennettu puisto	7 mm	7 mm
rakentamaton metsä	12 mm	12 mm

#### 3.4.4 Valuma-alueiden kertymisajat

Jotta verkoston solmupisteissä esiintyvät huippuvirtaamat saadaan selville mahdollisimman luotettavasti, tulee mallilla pystyä kuvaamaan muodostuvien hulevesimäärien lisäksi riittävän hyvin myös kunkin pienvaluma-alueen kertymisaika. Kertymisaika tarkoittaa aikaa, joka kuluu huippuvirtaaman muodostumiseen valuma-alueelta. Kunkin pienvaluma-alueen kertymisaika arvioitiin laskemalla käsin sen pisimmän merkittävän valumareitin mukainen virtausaika. Valuma-alueen latvaosissa pintavalunta tapahtuu aluksi ohuena tasisena kerroksena (*sheet flow*) enintään muutamia kymmeniä metrejä, jonka jälkeen pintavalunta keskittyy pienimuotoiseksi avouomavirtaukseksi (*shallow concentrated flow*). Tämän jälkeen pintavalunta päättyy varsinaisiin valuma-alueen sisäisiin avo-ojiin tai sadevesiviemäriin. Virtausaikojen laskennassa käytetyt, erilaisilla pinnoilla ja virtausreiteillä esiintyvät keskimääräiset virtausnopeudet on esitetty *taulukossa 9*. Virtausnopeuksissa on huomioitu pinnan keskimääräinen kaltevuus.

**Taulukko 9.** Valuma-aikojen käsin laskennassa käytetyt keskimääräiset virtausnopeudet erilaisilla valumareiteillä<sup>15</sup>.

Valumareitti	Virtausnopeus
maasto	0,1 m/s
sora, nurmi	0,2 m/s
asfaltti	0,3 m/s
oja	0,5 m/s
sadevesiviemäri, katto	0,9 m/s

Hulevesimallissa kunkin pienvaluma-alueen kertymisaika määräytyy sen läpäisemättömien pintojen keskimääräisen karkeuden (Manning  $n$ ) ja pienvaluma-alueen suhteellisen leveyden perusteella. Suhteellinen leveys määritetään pienvaluma-alueen keskimääräisen pisimmän valumareitin ja pienvaluma-alueen pinta-alan suhteena<sup>16</sup>. Tämä menetelmä olettaa, että pienvaluma-aluejako on niin tiheä, että kukin virtausreitti muodostaa oman pienvaluma-alueensa. Pienvaluma-alueen tulisi olla tällöin kooltaan niin pieni, että virtaama ei ehtisi sen sisällä vielä merkittävästi kanavoitua. Tämän työn laajuudessa, yleissuunnitelmatasoisessa suunnitelmassa ei ole kuitenkaan mahdollista tehdä pienvaluma-aluejakoa niin suurella tarkkuudella. Tässä suunnitelmassa käytetty jako 117 pienvaluma-alueeksi edustaa jo suunnittelun taso huomioiden hyvin suurta tarkkuutta, mutta silti pienvaluma-alueiden sisälle jää vielä mm. tonttien sadevesiviemäreitä ja avo-ojia. Näin ollen malliin syötettävässä läpäisemättömien pintojen keskimääräisessä karkeudessa huomioidaan myös pienvaluma-alueen sisällä tapahtuva avouomavirtaus painanteissa ja putkivirtaus sadevesiviemäreissä. *Taulukkoon 10* on koottu kertymisaikojen arvioinnissa käytetyt erilaisten valumareittien keskimääräiset karkeudet.

**Taulukko 10.** Mallissa käytetyt valumareittien keskimääräiset karkeudet.<sup>15</sup>

Valumareitti	Keskimääräinen karkeus (Manning $n$ )
maasto	0,4
nurmi	0,2
avo-oja	uoma 0,04 - penkka 0,1
asfaltti, betonikiveys, sora	0,015
sadevesiviemäri, katto	0,011

Esimerkkikohteiden avulla arvioitiin erilaisten Vuoreksessa esiintyvien maankäyttötyyppien valumareittien keskimääräisiä karkeuksia. Tiiviin kerrostalo-alueen esimerkkinä käytettiin Vuoreskeskuksen pienvaluma-aluetta 7.3 (kortteli 7637), rivitalo- ja pienkerrostaloalueen esimerkkinä Länsipuiston pienvaluma-aluetta 2.21 (kortteli 7619) ja pientaloalueen esimerkkinä Virolaisen korttelia 7660. Tie-, katu- ja pysäköintialueiden esimerkkinä käytettiin Vuoreskeskuksen pienvaluma-aluetta 7.8 (Vuoreksen puistokatu). Puistojen keskimääräinen karkeus arvioitiin likimääräisesti useiden kohteiden perusteella. Esimerkkikohteiden valumareiteille lasketut keskimääräiset karkeudet asettuivat välille 0,012–0,17, mitä käytettiin suuntaa antavana ohjeena muilla samantyyppisillä alueilla. Tapauskohteisesti arvoja muutettiin vastaamaan paremmin kunkin pienvaluma-alueen valumareittiä. Esimerkkikohteille tehdyt laskelmat on esitetty *taulukossa 11*.

<sup>15</sup>Mc Cuen, R. H. 2004. *Hydrologic Analysis and Design, Third Edition*. Pearson Prentice Hall, 888 s.

<sup>16</sup> US EPA. 2009. Storm Water Management Model, User's manual, version 5.0.

**Taulukko 11.** Esimerkkikohteiden valumareittien keskimääräiset karkeudet.

Maankäyttötyyppi	Katto 0,011	Asfaltti 0,015	Nurmi 0,2	Oja 0,04	Sv 0,011	karkeus
tiet, kadut (7.8)	-	15 %	-	-	85 %	<b>0,012</b>
tiivis kerrostaloalue (7.3)	25 %	8 %	9 %	-	58 %	<b>0,027</b>
tiivis rivitalo- tai pien- kerrostaloalue (2.21)	18 %	33 %	25 %	25 %	-	<b>0,061</b>
pientaloalue (7660)	12 %	-	22 %	65 %	-	<b>0,068</b>
rakennettu puisto	-	-	90 %	10 %	-	<b>0,168</b>

Kun kullekin pienvaluma-alueelle oli arvioitu käsin laskennalla kertymis aika ja määritetty keskimääräinen karkeus, täsmättiin mallin tuottamat kertymisajat käsin laskettuihin arvioihin. Täsmäys tehtiin säätämällä pienvaluma-alueiden suhteellisia leveyksiä EPA SWMM:n ohjeiden mukaisesti<sup>16</sup>. Täsmäyksessä käytettiin riittävän pitkäkestoista, tasaisen intensiteetin sadetta, jolla kertymis aika saatiin hyvin näkyviin. Täsmäyksessä käytetty sade valittiin niin pitkäkestoiseksi (180 min), että painannesäilyntä tai mahdollinen *hule-9*-viivytystilavuus ehtivät täyttyä ja tämän jälkeen sade kesti vielä vähintään pienvaluma-alueen kertymisajan verran. Mallissa kertymis aika mitattiin valuma-alueen purkautumiskäyrästä virtaaman alkamisen ja virtaamahuipun välisenä aikana.

Kun *hule-9* -järjestelmiä ei huomioida, kertymisajat asettuivat tiiviisti rakennetuissa kortteleissa (0,6–1,5 ha) välille 5–10 minuuttia. Valuma-alueen pinta-alan kasvaessa tai rakentamisen väljyyden lisääntyessä kertymis aika kasvoi rakennetuilla alueilla välille 15–20 minuuttia. Nämä arvot vastaavat varsin hyvin alan käsikirjoissa<sup>15</sup> esitettyjä arvoja. Paljon viheralueita sisältävillä, puistomaisilla pienvaluma-alueilla kertymis aika on selvästi tätä pidempi, esimerkiksi 30–60 minuuttia. Rakentamattomilla metsäalueilla kertymis aika on voi kasvaa tunteihin, riippuen alueen pinta-alasta. On tärkeä huomata, mainitut kertymisajat pätevät vasta painannesäilyntän varastotilavuuden täyttymisen jälkeen, jolloin tehokasta pintavaluntaa alkaa esiintyä. Lisäksi tulee huomata, että *hule-9* alueiden purkupisteistä mitattuna kertymisajat muodostuvat suuremmiksi, koska *hule-9* varastotilavuuden täyttymiseen kuluu aikaa. Varastotilavuuden täyttymiseen kuluva aika riippuu puolestaan sateen intensiteetistä. Vasta valuma-alueella olevan varastotilavuuden täyttymisen jälkeen valuma-alueen purkupisteessä alkaa esiintyä merkittävää hulevesivirtaamaa.

### 3.4.5 Keskimääräiset valumakertoimet

Tehokkaan pintavalunnan osuus sadannasta riippuu sadetapahtuman intensiteetistä ja sademäärästä. Sateen intensiteetin ja sademäärän kasvaessa suu riksi sadannan häviöiden merkitys pienenee, koska painannesäilyntän kapasiteetti ylittyy eikä maaperä ehdi imeyttää vettä riittävästi. Tällöin valumakertoimet kasvavat merkittävästi. Sen sijaan jos sateen intensiteetti on alhainen, etenkin läpäisevillä pinnoilla häviöiden merkitys kasvaa suureksi ja valumakertoimet jäävät selvästi alhaisemmiksi. Rakennetuilla alueilla painannesäilyntän kapasiteetti on pieni ja läpäisemättömien pintojen määrä on suuri, jolloin myös lyhytkestoiset, sademäärältään alhaisemmat rankkasateet aiheuttavat valumakertoimien selvää kasvua. Sen sijaan rakentamattomilla alueilla sademäärän tulee olla niin suuri, että painannesäilyntän kapasiteetti ylittyy ja sateen intensiteetin niin suuri, että se ylittää maaperän imeyntäkyvyn. Tästä johtuen rakentamattomilta alueilta ei käytännössä muodostu juurikaan pinta-valuntaa tavanomaisilla sadetapahtumilla.

Käyttämällä edellä, *taulukossa 8* esitettyjä maankäyttötyypille ominaisia painannesäilynnän arvoja ilman hule-9 järjestelmiä sekä määritettyjä TIA arvoja voitiin määrittää maankäyttötyypeille keskimääräiset valumakertoimet erilaisilla sadetapahtumilla. Käytettyjen sadetapahtumien tiedot on käsitelty *kappaleessa 3.3*. Määritettyjä valumakertoimia valituilla sadetapahtumilla on koottu *taulukkoon 12*.

**Taulukko 12.** Maankäyttötyyppien keskimääräisiä valumakertoimia käyttäen laskennassa erilaisia rankkasadetapahtumia 5 ja 10 vuoden toistuvuuksilla.

Maankäyttötyyppi	1/5a			1/10a		
	6 h	2 h	1 h	6 h	2 h	1 h
tiet ja kadut	0,81	0,80	0,78	0,82	0,81	0,80
tiivis kerrostaloalue	0,79	0,77	0,76	0,79	0,78	0,77
tiivis rivitalo- tai pienkerrostaloalue	0,60	0,57	0,55	0,61	0,58	0,57
pientaloalue	0,46	0,43	0,40	0,47	0,44	0,43
rakennettu puisto	0,27	0,24	0,21	0,28	0,25	0,23
rakentamaton metsä	0,13	0,10	0,07	0,14	0,11	0,09

*Taulukossa 12* esitetyt keskimääräiset valumakertoimet vastaavat hyvin kirjallisuudessa (mm. Kuusisto 2002<sup>13</sup>) yleisesti esitettyjä arvoja ottaen huomioon vallitseva pohjamaan laatu (savi, siltti, kallio) ja pintojen keskimääräiset kaltevuudet (1–4 %). On kuitenkin huomattava, että esitetyt arvot pätevät mitoitustarkasteluissa käytettäville rankkasadetilanteille, joiden sademäärä ja intensiteetti ovat suuret. Tavanomaisilla sateilla arvot olisivat alhaisemmat.



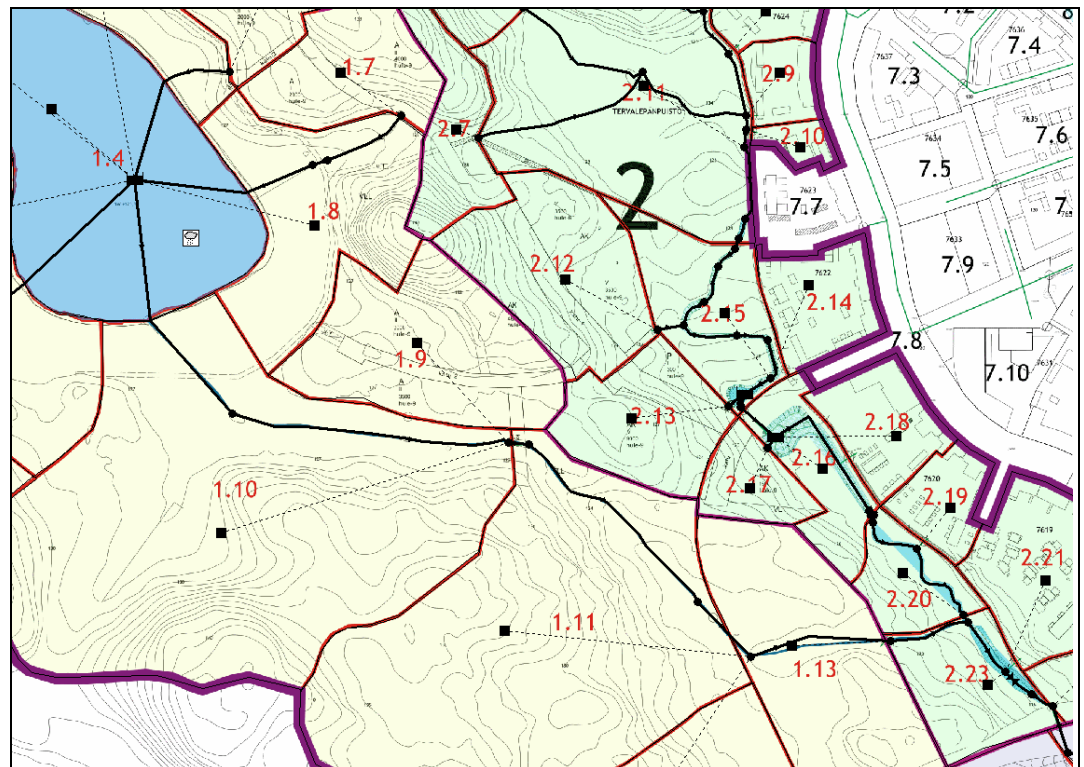
## 4 HYDRAULINEN MALLI

### 4.1 Mallin kuvaus

Hydraulinen malli laadittiin US EPA:n SWMM -ohjelmalla. Malli rakennettiin yhdistämällä edellä kuvattu hydrologinen valuma-aluemalli hydrauliseen avo-uomista ja sadevesiviemäreistä muodostuvaan verkostomalliin. Hydraulinen malli sisältää valitulla tarkkuudella myös kaikki hydrauliset rakenteet kuten kaivot, rummut, patorakenteet, altaat ja järvet. Mallin avulla voidaan tarkastella mm. ajasta riippuvia virtaamien summakäyriä, vedenpinnan tasoja ja al-  
taiden tilavuuksia kussakin mallinnetussa solmupisteessä ja verkoston osassa.

Mallinnus suoritettiin käyttäen dynaamista menetelmää<sup>16</sup>, jolla voidaan tarkastella tulvivia järjestelmiä ja tarkastella epäyhtenäisesti jakautunutta, ajan suhteen muuttuvaa virtausta. Menetelmällä voidaan ottaa huomioon monimutkaisia hydraulisia ilmiöitä kuten paineellinen virtaus, taaksepäin virtaus, uomien ja putkien tulviminen ja padotus. Mallinnuksessa käytettiin laskentaan lyhyttä, 5 sekunnin aika-askelta, jolla parannettiin laskennan tarkkuutta ja vähennettiin virtaamamuutoksista aiheutuvia laskennallisia häiriöitä. Raportointi suoritettiin yhden minuutin aikavälien.

Tässä mallinnustyössä laadittiin hydrauliset mallit erikseen Koukkujärven laskuojan valuma-alueelle ja Virolaisten laskuojan valuma-alueelle. Tällä nopeutettiin mallilla suoritettavien tarkastelujen tekoa sekä parannettiin mallin toimintavarmuutta. Valuma-alueiden tarkastelu yhtenä mallina ei olisi tuonut lisäarvoa tarkastelulle, koska niiden valumareitit ovat erilliset. Ote Koukkujärven laskuojan valuma-alueen mallista, joka sisältää sekä hydrologisen että hydraulisen mallin on esitetty kuvassa 9.



**Kuva 9.** Ote Koukkujärven laskuojan valuma-alueen mallista.



## 4.2 Mallin rakenne ja käytetyt parametrit

### 4.2.1 Avouomat ja -ojat

Nykyisistä avouomista ja -ojista ei ollut tarkkoja poikkileikkauksia saatavilla. Tärkeimpien avouomien poikkileikkaukset voitiin kuitenkin arvioida riittävällä tarkkuudella käytettävissä olevan kartta- ja laserkeilausaineiston sekä valokuvien perusteella. Pienemmät avo-ojat, joista ei ole saatavilla mittaustietoa mallinnettiin käyttäen erilaisia yleispiirteisiä tyyppipoikkileikkauksia. Uusien, hulevesien hallintajärjestelmiin liittyvien avouomien ja väylien reunaosien osalta mallinnuksessa käytettiin aikaisemmin tehdyissä suunnitelmissa tai luonnoksissa esitettyjä poikkileikkauksia. Jos tarkempia suunnitelmia ei ollut vielä tehty, käytettiin kohteelle tyypillisiä poikkileikkauksia.

Avouomien ja -ojien pohjan korot ja kaltevuus asetettiin mittausaineiston mukaisiksi aina sen ollessa mahdollista. Asemakaava-alueilla korkeustasot arvioitiin tehtyjen katusuunnitelmien tai -luonnosten perusteella. Mittausaineiston tai suunnitelmien puuttuessa avouomien ja -ojien pohjien korot ja pohjan kaltevuus arvioitiin pohjakartan korkeuskäyrien perusteella. Uomiin asetettiin taitepisteet kohtiin, joissa uomien poikki- tai pituusleikkauksessa tapahtui merkittäviä muutoksia. Taitepisteet asetettiin tyypillisesti noin 50–100 metrin välein, mutta väliä tihennettiin tärkeimmissä uomissa mikäli mittausaineisto tai suunnitelmat sen mahdollistivat. Avouomien ja -ojien karkeuskertoimena (Manning  $n$ ) käytettiin keskivedenpinnan alapuolella arvoja 0,03–0,06 ja luisien yläosissa ja ojan reuna-alueella kasvillisuudesta riippuen arvoja 0,1–0,3.

### 4.2.2 Järvet

Valuma-alueiden sisällä sijaitsevat järvet tulee ottaa mallissa huomioon, koska niiden virtaamia tasaava vaikutus on valuma-alueella hyvin merkittävä. Koska Koukkujärven, Virolaisen ja Pienen Virolaisen laskuojista ei ollut saatavissa virtaamamittaustietoja eikä purkupisteistä ollut tarkkoja mittaustietoja, järvien purkuvirtaamat jouduttiin arvioimaan. Järvien purkujärjestelyt on rakennettu malliin siten, että purkuvirtaamat vastaavat suuruusluokaltaan mahdollisimman hyvin arvioitua virtaamia.

Arvioinnin lähtöoletuksena on ollut, että sulan kauden aikaisella keskivedenpinnan korkeudella järvistä purkautuu pieni perusvirtaama. Järvien perusvirtaamia arvioitiin perustuen oletukseen, että järven valuma-alueen tasolla 700 mm:n vuosisadannasta noin puolet muodostaa valuntaa. Vuosivalunta on näin ollen suuruudeltaan noin 350 mm ja se syntyy pääasiassa sulan kauden aikana, etenkin keväällä ja syksyllä. Talvella valunta on pakkasista johtuen hyvin vähäistä. Kesällä puolestaan järvet ovat yleisesti alavedenpinnan tasossa, jolloin järvestä ei merkittävässä määrin purkaudu vettä laskuojaan. Oletetaan vuosivalunnasta 80 % tapahtuvan kevään ja syksyn aikana ajalla huhtikuu–toukokuu ja syyskuu–marraskuu. Tämän ajanjakson (5 kk) kuukausittainen keskivalunta olisi noin 56 mm eli 22 l/s\*km<sup>2</sup>. Kertomalla tämä keskivalunta valuma-alueen pinta-alalla saadaan arvioitua sulan kauden valuma-aluekohtaiset keskivirtaamat. Keskivirtaamien määrittämisessä käytetyt arvot on koottu *taulukkoon 13*.

Saman suuruusluokan arvoihin päästään myös muuttamalla 350 mm vuosivalunta tasaiseksi valunnaksi koko vuoden ajalle (11,1 l/s\*km<sup>2</sup>). Jos ajatellaan valunnan muodostuvan karkeasti kuuden kuukauden aikana vuodessa, keskivalunnaksi muodostuisi noin 22 l/s\*km<sup>2</sup>.

**Taulukko 13.** Järvien perusvirtaaman arvioinnissa käytetyt arvot.

	Koukkujärvi	Virolainen	Pieni Virolainen
Luonnollinen valuma-alue	60 ha	68 ha	20 ha
Järven pinta-ala	5,75 ha	7,7 ha	3,8 ha
Järven osuus valuma-alueesta	10 %	11 %	19 %
Vuosisadanta	700 mm		
Vuosivalunta (50 % sadannasta)	350 mm		
Kevään ja syksyn keskivalunta / kk	56 mm/kk, 22 l/s*km <sup>2</sup> /kk		
Sulan kauden keskivirtaama	14 l/s	15 l/s	5 l/s

Järvien purku-uomien geometrioista ja korkeustasoista ei ollut tarkkoja mittaustietoja, joten uomat rakennettiin suuntaa-antavien mittaustietojen perusteella. Järven purku-uoman geometrian ja korkeustason hienosäätö tehtiin asettamalla järveen keskivedenpinnan korkeus ja järven tulovirtaamaksi edellä määritetty tasainen sulan kauden keskivirtaama. Tämän jälkeen uoman geometriaa säädettiin siten, että järven purkuvirtaama muodostui tulovirtaaman suuruiseksi. Näin järvien käyttäytyminen saatiin kalibroitua karkealla tasolla siten, että keskivedenkorkeudella (MW) keskimääräinen sulan kauden tulovirtaama ei aiheuta pinnannousua järvessä. Keskivedenpinnan korkeudet on määritetty pohjakartasta.

Mallinnuksessa järvien veden pinnan tasojen on oletettu olevan mitoittavan sadetapahtuman alkaessa jo arvioidulla ylävedenpinnan tasolla (HW). Edellä kuvatun karkean kalibroinnin pohjalta mallilla voidaan kuvata kohtuullisella tarkkuudella järvien purkuvirtaamia myös ylävedenpinnan tasolla ja veden pinnan käyttäytymistä mitoitustilanteessa. Käytetyt järvien veden pinnan korkeudet MW- ja HW-tilanteessa sekä niillä esiintyvät mallinnetut purkuvirtaamat on koottu *taulukkoon 14*.

**Taulukko 14.** Tarkasteluissa käytetyt järvien veden pinnan korkeudet MW- ja HW-tilanteissa sekä niillä mallinnetut purkuvirtaamat.

	Koukkujärvi	Virolainen	Pieni Virolainen
keskivedenpinta, MW	+125,88	+118,30	+118,60
purkuvirtaama, MW	14 l/s	15 l/s	5 l/s
ylävedenpinta, HW	+126,00	+118,55	+118,85
purkuvirtaama, HW	70 l/s	70 l/s	90 l/s

#### 4.2.3 Sadevesiviemärit ja rummut

Hydrauliseen malliin syötettiin tiedot selvitysalueelle rakennettavasta sadevesiviemäriverkosta lähtöaineiston mahdollistamassa laajuudessa. Virolaisen asemakaava-alueelta, Vuoreksen puistokadulta ja Mäyränmäenkadulta oli käytettävissä sadevesiviemärit sisältävät katusuunnitelmat ja Vuoreskeskuksen ja Rimmin asemakaava-alueiden osalta käytössä oli katusuunnitelma-luonnokset. Suunnitelmista nähtiin putkilinjaukset, putkidimensiot sekä kaivojen ja putkien vesijuoksujen korot. Myös avouomien rummut on mallinnettu mittaussaineiston ja suunnitelmien perusteella.

Myös niille asemakaava- ja yleiskaava-alueille, joilla ei ollut tehtyjä katusuunnitelmia, oletettiin toteutettavaksi sadevesiviemäröinti. Näillä alueilla virtausreitit sekä putkiston korot ja dimensiot perustuivat oletuksiin. Oletettuina putkikokoina käytettiin muiden alueiden katusuunnitelmissa esitettyjä vakioputkikokoja eli pääsadevesiviemärien osalta kokoja NS400, NS500 ja NS600.

Pääsääntöisesti putkien karkeuskertoimena on käytetty arvoa 0,015. Rumpujen paikallishäviöinä on käytetty mallinnusohjelman rummulle suosittelemia arvoja<sup>17</sup>: nieluhäviö 0,5 ja purkautumishäviö 1,0. Maanpinta asetettiin sadevesiviemäriinjojen suunnitelmissa esitettyjen kaivojen kannen tasoon. Jos kansien korkeustasoja ei ollut saatavissa, maanpinnan oletettiin olevan 1,7 metrin korkeudella sadevesiviemäreiden vesijuoksusta. Veden noustessa verkostosta maanpinnan yläpuolelle vesi lammikoituu solmupisteen ympärille ja valuu takaisin verkostoon heti, kun se on mahdollista. Näin toimimalla tulviva vesi ei katoa mallista.

#### 4.2.4 Hulevesien hallintajärjestelmät

Vuoreksen alueelle rakennettavat alueelliset hulevesien hallintajärjestelmät mallinnettiin yleissuunnitelman tason mukaisesti eli riittävällä tarkkuudella, mutta ei kuitenkaan tarpeettoman yksityiskohtaisesti. Hallintajärjestelmistä tuli mallin perusteella pystyä tarkastelemaan huippuvirtaamia, viivytystilavuuksia, veden pinnan korkeuksia sekä altaiden ja biopidätysalueiden tyhjenemisaikoja. Vuorekseen suunniteltuja hulevesien hallintajärjestelmiä on käsitelty yksityiskohtaisemmin *kappaleessa 2.3* sekä tulosten yhteydessä *kappaleessa 5.4*.

Länsipuiston, Pilkkakuusen ja Vuoreksen keskuspuiston hulevesialtaat sekä keskuspuiston biopidätysalueet on mallinnettu varastotilavuutena (*storage unit*). Niille asetettiin laadittujen tasaussuunnitelmien perusteella altaan vesitilavuutta kuvaava tilavuuskäyrä, joka ilmoittaa altaan vesipinta-alan altaan syvyyden suhteen. Tällä menettelyllä saadaan altaan vedenpinnan korkeuden vaihtelut noudattamaan suunniteltua altaan muotoa. Koska mallinnusohjelma käsittää varastotilavuuden pistemäisenä kohteena, altaan pohjan vettä ei voida sellaisenaan huomioida, vaan altaiden pohjan tasoksi on asetettu pohjan keskikorkeus.

Altaiden purkujärjestelyt on mallinnettu altaiden rakennussuunnitelmissa tai havainnekuissa esitetyin purkujärjestelyin. Länsipuiston ja Pilkkakuusen altaiden tyhjennys järjestetään pienikokoisella putkella tai salaojituksella. Malliin tyhjennysjärjestelyt on tehty pienikokoisilla rumpuputkilla, joiden koko on säädetty siten, että tyhjennysvirtaama on halutun suuruinen tai salaojituksen tapauksessa enintään 12 tuntia. Tyhjennysputken lisäksi purkujärjestelyyn on mallinnettu patorakenne, joka sallii ylivuodon suunnitellussa veden pinnan korkeudessa. Tyhjennysjärjestelyn ja ylivuodon yhteinen suurin purkuvirtaama ei saa ylittää haluttua tavoitetasoa, johon hulevesien hallinnassa pyritään.

Vuoreksen keskuspuiston hulevesijärjestelmästä malliin rakennettiin puiston länsireunaan sijoittuvat biopidätysalueet (8 kpl), keskuspuiston tekojärvi sekä tekojärven alapuoliset kuusi tulva-aluetta. Lisäksi malliin lisättiin yksi ylimääräinen biopidätysalue puiston pohjoisosaan Virolaisten asemakaava-alueen pääsadevesiviemäriin johtamia vesiä varten.

<sup>17</sup> Federal Highway Administration. 2005. *Hydraulic Design of Highway Culverts*, Publication No. FHWA-NHI-01-020.

## 5 MALLINNUKSEN TULOKSET

### 5.1 Tarkastellut tilanteet

Tarkastelujen lähtökohtana oli ottaa huomioon Vuorekseen suunniteltujen hulevesien hallintajärjestelmien monimuotoisuus ja se, että erityyppisiä järjestelmiä tulee tarkastella toimintaperiaatteensa ja tavoitteensa mukaisilla sadetapahtumilla. Hulevesien hallintajärjestelmien mitoitusperusteita käsitellään mm. vuoden 2010 aikana verkossa julkaistavassa, Kuntaliiton teettämässä Hulevesioppaassa<sup>18</sup>. Hulevesioppaan mukaiset mitoitusperusteet erityyppisille vaihtoehtoisiin hulevesien hallintajärjestelmille on koottu tiivistettynä *taulukoon 15*.

**Taulukko 15.** Mitoitusperiaatteet hulevesien hallintajärjestelmille<sup>18</sup>.

Järjestelmä	Mitoitusperuste
Laadullinen hallinta ja imeytys	Yleisesti toistuvat sadetapahtumat, esim. 80 % vuosittaisista sadetapahtumista
Hajautettu määrällinen hallinta	Lyhyehkö rankkasade, esim. kerran viidessä vuodessa esiintyvä 10 minuutin sade, jonka sademäärä noin 10 mm.
Keskitetty määrällinen hallinta	Purkuvirtaama säädetään halutulle, esim. rakentamista edeltäneelle tasolle. Mitoitustilanteen toistuvuutena ympäristön mukaan esim. kerran 3, 5 tai 10 vuodessa.
Tulvasuojelurakenteet ja tulvareitit	Mitoitustilanteen toistuvuus kohteen mukaan esim. kerran 20–200 vuodessa

Hulevesimallilla tarkasteltiin lukuisien erilaisten sadetapahtumien aiheuttamia valunta- ja virtaustilanteita. Kullakin tarkasteltavalla toistuvuudella käytettiin useita ketoltaan erilaisia sateita, joilla haettiin pahinta kyseisellä toistuvuudella esiintyvää tilannetta. Sateina käytettiin alle 6 tunnin tapahtumien osalta muuttuvan intensiteetin CDS-sateita. Ottamalla huomioon *taulukossa 15* esitetyt mitoitusperusteet ja Vuorekseen suunnitellut hulevesien hallintajärjestelmät päätettiin tarkastelut jakaa viiteen päätyyppiin alla olevan listan mukaisesti.

1. Rakentamattoman tilanteen virtaamien tarkistaminen. Käytetään 6 tunnin kestoista CDS-sadetta.
2. Kerran vuodessa toistuvat sadetapahtumat (1/1a). Käytetään ensisijaisesti 3 ja 6 tunnin CDS-sateita sekä tasaisen intensiteetin vuorokausisadetta. Tarkastellaan erityisesti korttelikohtaisten hule-9 viivytystilavuuksien, keskuspuiston biopidätysalueiden ja Länsipuiston imeytysaltaan toimintaa. Mainittavaa kuormitusta ei pitäisi esiintyä muissa hulevesien hallintajärjestelmissä.
3. Kerran viidessä vuodessa toistuvat sadetapahtumat (1/5a). Käytetään ensisijaisesti 1, 2, 3 ja 6 tunnin CDS-sateita sekä tasaisen intensiteetin vuorokausisadetta. Tarkastellaan kaikkia Vuorekseen suunniteltuja hulevesien hallintajärjestelmiä sekä erikseen että kokonaisuutena. Järjestelmien tulisi toimia suunnitellulla tavalla.
4. Kerran 100 vuodessa esiintyvät tulvatilanteet (1/100a). EU:n tulvapuitedirektiivin toimeenpanoon liittyen kuntien tulisi tarkastella hulevesitulvien mahdollisuutta ja riskejä kerran sadassa vuodessa toistuvilla 1 h (36 mm)

<sup>18</sup> Hyöty, P. 2010. *Hulevesioppas, raporttiluonnos, osio. 11*. Kuntaliitto.

ja 1 vrk:n (86 mm) sateilla<sup>19</sup>. Tarkasteluissa käytetään ohjeiden mukaisilla sademäärillä laadittua 1 tunnin CDS sadetta sekä tasaisen intensiteetin vuorokausisadetta. Tarkastellaan tulvimisen laajuutta, tulvareittien riittävyyttä ja selvitetään pahimmat riskikohdat.

5. Tarkastellaan ilmastomuutoksen vaikutusta hulevesien hallintajärjestelmien toimintaan. Perusteet on käsitelty *kappaleessa 6.3*.

## 5.2 Hulevesivirtaamat rakentamista edeltävässä tilassa

Mallinnuksen avulla tarkistettiin myös rakentamattomassa tilanteessa selviytysalueelta muodostuvia hulevesivirtaamia ja verrattiin niitä aikaisemmissa suunnitelmissa esitettyihin virtaamiin. Vertailu tehtiin kerran viidessä vuodessa (1/5a) esiintyvien mitoittavien sateiden perusteella. On kuitenkin huomattava, että Vuoreksen hulevesien hallintajärjestelmistä on tehty lukuisia erilaisia suunnitelmia ja hallinnalle asetetut tavoitteetkin ovat ajan kuluessa muuttuneet. Aikaisemmissa suunnitelmissa on käytetty myös lukuisia erilaisia sadetapahtumia, joten aikaisempien suunnitelmien tulokset eivät ole yksiselitteisiä eivätkä ne ole suoraan verrattavissa tämän yleissuunnitelman päivityksen mallinnustuloksiin.

Vertailussa aikaisempien suunnitelmien osalta tuloksina käytettiin 120 minuutin, tasaisen intensiteetin 0,20 mm/min sateen mukaisia tuloksia. Nyt tehdysässä hulevesimallinnuksessa mitoittavan sateen kesto haettiin useiden tapaus-ten joukosta ja käytettiin tasaisen sateen sijasta muuttuvan intensiteetin CDS-sadetta, jolla rakentamattoman tilan mitoittavan sateen kestoksi muodostui päävaluma-alueella noin kuusi tuntia. Mitoittavan sateen kesto kasvoi aikaisemmin arvioidusta, koska mallissa valuma-alueiden, järvien ja verkoston virtaamia viivyttävät ominaisuudet pystyttiin ottamaan huomioon. Vertailun tulokset on koottu *taulukkoon 16*.

**Taulukko 16.** Rakentamista edeltävän tilan virtaamien vertailu kerran viidessä vuodessa (1/5a) esiintyvillä sadetapahtumilla.

Tarkastelupiste	Aikaisemmat yleissuunnitelmat	Yleissuunnitelman päivitys
	120 min tasainen 0,20 mm/min	6 h CDS ka. 0,09 mm/min
KOUKKUJÄRVEN LASKUOJAN VALUMA-ALUE		
Koukkujärven purku	410 l/s	50 l/s
Ruskontien alittava nykyinen rumpu	580 l/s	370 l/s
Annistoon hulevesialtaan purku	600 l/s	390 l/s
Purku Koipijärveen	650 l/s	510 l/s
VIROLAISTEN LASKUOJAN VALUMA-ALUE		
Virolaisen purku	480 l/s	565 l/s
Pienen virolaisen laskuojan rumpu	690 l/s	235 l/s
Pilkkakuusen hulevesialtaan purku	120 l/s	135 l/s
Purku Keskuspuistoon	820 l/s	390 l/s
Ruskontien alittava rumpu	665 l/s *	700 l/s
Purku Koipijärveen	-	750 l/s

\*Atelier Dreiseil:n laatimassa yleissuunnitelmassa esitetty arvo.

<sup>19</sup> Koistinen, J. Jylhä, K. *Yhden tunnin ja vrk:n 100 vuoden toistuvuustasojen sadannat*. 25.3.2010. Ilmatieteen laitos. Suomen ympäristökeskuksen tiedotus EU-direktiivin toimeenpanosta.

*Taulukosta 16* nähdään, että aikaisemmat ja nyt saadut virtaamat vastaavat toisiaan vaihtelevasti. Erot muodostuvat ennen kaikkea nyt tehdyn hulevesimallin kyvyssä ottaa huomioon järvien virtaamia tasaava vaikutus. Hulevesimallissa järvet on mallinnettu todellista suuruusluokkaa olevina altaina, kun taas aikaisemmissa suunnitelmissa ne on otettu huomioon lähinnä valuma-alueen valumakertoimen suuruudessa. Merkittävimmat erot muodostavat Koukkujärven ja Pienen Virolaisen purkuvirtaamat. Jos ne jätetään huomioimatta, mallinnetut virtaamat vastaavat suuruusluokaltaan hyvin aikaisempien suunnitelmien arvoja.

Tuloksia vertailtaessa on tärkeä huomata, että vertailu koskee muodostuvia huippuvirtaamia – ei valuma-alueilla muodostuvia hulevesimääriä, jotka ovat pysyneet tarkasteluissa likimäärin samoina. Valumakertoimien muutokset tarkasteluissa ovat olleet vähäisiä. Koska muodostuvat hulevesimäärät eivät ole juurikaan muuttuneet, ero huippuvirtaamissa selittyy hulevesimallin kyvyllä kuvata hulevesien muodostumisajat huomattavasti tarkemmin kuin käsin laskennalla sekä CDS-sateiden käytöllä. Hulevesimallissa virtausreitit ja valuma-alueet on kuvattu merkittävästi suuremmalla tarkkuudella kuin aikaisemmissa suunnitelmissa. Esimerkiksi Koukkujärven laskuojan valuma-alueella aiemmat 5 pienvaluma-aluetta on nyt mallinnettu 41 pienvaluma-alueena. Virolaisten laskuojan valuma-alueella tarkastelun tarkkuuden kasvu on ollut suuruusluokaltaan samanlainen. Lisäksi hulevesimallilla tehdyissä laskelmissa on voitu ottaa huomioon erilaisten hydrologisten ja hydraulisten ilmiöiden vaikutus entistä paremmin. Tämän johdosta altaiden, järvien, ojien ja sadevesiviemäriverkon toiminta on todenmukaisempaa ja myös valuma-alueilla tapahtuvia häviöt, etenkin painannesäilyntä, on voitu ottaa laajemmin huomioon.

Edellä esitetyistä eroavaisuuksista huolimatta on tärkeä havaita, että esimerkiksi purkuvirtaamat Virolaisesta Pieneen virolaiseen, Keskuspuistosta Ruskontien rummulle ja Pilkkakuusen altaan kohdalta Keskuspuistoon on arvioitu aikaisemmissa suunnitelmissa hyvin lähelle mallinnuksella saatuja arvoja. Koukkujärven laskuojassa rakentamattoman tilan virtaamat havaittiin yleisesti hieman alhaisemmiksi kuin aikaisemmin on arvioitu, koska Koukkujärven virtaamia tasaavaa vaikutus voitiin nyt ottaa paremmin huomioon.

### **5.3 Rakentamisen aiheuttama hulevesivirtaamien kasvu**

Rakentamisesta aiheutuvaa hulevesivirtaamien kasvua verrattiin aikaisemmissa suunnitelmissa esitettyihin arvioihin. Tarkastelussa oletettiin alueet rakennetuiksi, mutta hulevesien hallintajärjestelmiä ei ollut käytössä. Virtaamavertailun tulokset kerran viidessä vuodessa esiintyvillä sadetapahtumilla on koottu *taulukkoon 17*.

**Taulukko 17.** Rakentamisen jälkeisten, kerran viidessä vuodessa esiintyvien (1/5a) virtaamien vertailu jos hulevesien hallintajärjestelmiä ei ole toteutettu. Huippuvirtaaman jälkeen sulkeisiin on merkitty virtaaman kasvu verrattuna rakentamattomaan tilaan.

Tarkastelupiste	Aikaisemmat yleissuunnitelmat	Yleissuunnitelman päivitys
	120 min tasainen 0,20 mm/min	6 h CDS ka. 0,09 mm/min
<b>KOUKKUJÄRVEN LASKUOJAN VALUMA-ALUE</b>		
Koukkujärven purku	500 l/s (+20 %)	60 l/s (+20 %)
Ruskontien alittava nykyinen rumpu	1190 l/s (+110 %)	1700 l/s (+360 %)
Anniston hulevesialtaan purku	1250 l/s (+110 %)	1100 l/s (+180 %)
Purku Koipijärveen	1420 l/s (+120 %)	1420 l/s (+180 %)
<b>VIROLAISTEN LASKUOJAN VALUMA-ALUE</b>		
Virolaisen purku	730 l/s (+51 %)	570 l/s (± 0 %)
Pienen virolaisen laskuojan rumpu	990 l/s (+45 %)	370 l/s (+55 %)
Pilkkakuusen hulevesialtaan purku	480 l/s (+51 %)	620 l/s (+365 %)
Purku Keskuspuiston pohjoisosaan	1470 l/s (+79 %)	1490 l/s (+280 %)
Ruskontien alittava rumpu	-	2170 l/s (+210 %)
Purku Koipijärveen	-	2170 l/s (+190 %)

*Taulukosta 17* nähdään, että Koukkujärven laskuojan valuma-alueella rakentaminen aiheuttaa suurimmat ongelmat Ruskontien pohjoispuolella, jossa tulovirtaama Ruskontien alittavalle nykyiselle rummulle kasvaa jopa 360 % eli yli nelinkertaistuu. Koukkujärveen laskevien hulevesien vaikutus laskuojan virtaamiin on olematon. Suurin virtaamapiikki tulee Lempäälän kunnan puolelta sijaitsevilta yleiskaava-alueilta (pienvaluma-alueet 1.11–1.13), joilla läpäisemättömien pintojen määrä nousee todennäköisesti suureksi. Tulevassa tilassa Koukkujärven laskuoja alittaa Ruskontien avouomassa, sillan alla, joten suuret hulevesivirtaamat kuormittavat suoraan Annistoon suunniteltua hulevesiallasta. Ruskontien alituksen jälkeen, ennen Vanhaa Hervannantietä laskuojan pituuskaltevuus pienenee, mikä tasoittaa hieman Annistossa esiintyviä virtaamapiikkejä. Koipijärveen purkautuva virtaama on arvioitu aikaisemmissa suunnitelmissa samansuuruiseksi kuin mallinnuksella todettiin.

Virolaisten laskuojan osalta *taulukosta 17* nähdään, että rakentamisen vaikutukset näkyvät eniten Pilkkakuusen hulevesialtaan kohdalla ja Keskuspuistossa. Aikaisempien suunnitelmien mukaiset kasvuprosentit jäävät mallinnuksella saatuja pienemmiksi ennen kaikkea siksi, että aikaisemmissa tarkasteluissa järvien purkuvirtaamat oletettiin suuremmiksi kuin mallinnuksella lopulta todettiin. Olennaista suunnittelun kannalta on kuitenkin huomata se, että Keskuspuiston pohjoisosaan purkautuva huippuvirtaama todettiin mallinnuksessa samansuuruiseksi kuin aikaisemmissa tarkasteluissa oli arvioitu.

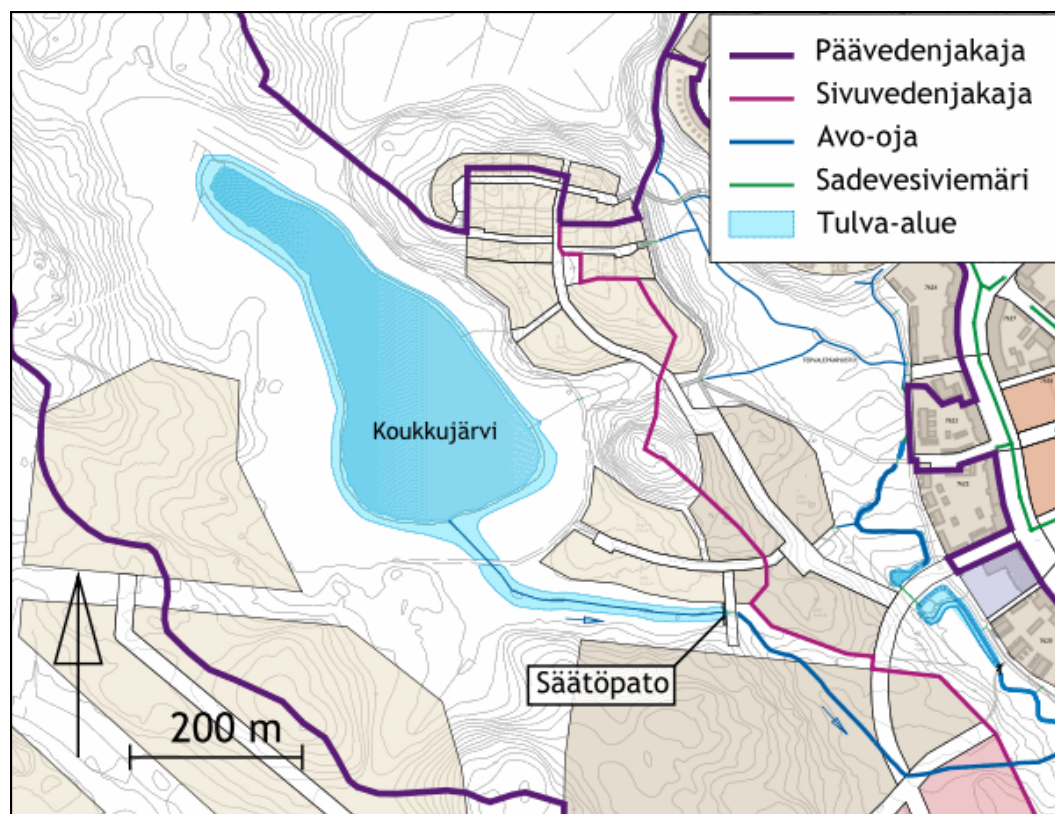
Koska mallinnuksessa käytettiin muuttuvan intensiteetin sadetapahtumaa, huippuvirtaaman kesto-aika on hyvin lyhyt eikä se näin ollen kerro koko totuutta muutoksesta. Paremminkin kokonaisuuden muutosta kuvaa mallin laske-ma koko valuma-alueen keskimääräinen valumakerroin, jossa on otettu huomioon valuma-alueilla tapahtuvat häviöt kuten painannesäilyntä. Tämän perusteella sekä Koukkujärven että Virolaisten laskuojan valuma-alueella rakennetun tilan keskimääräiseksi valumakertoimeksi muodostui 0,40–0,45 ja rakentamattomassa tilassa 0,13–0,17. Hulevesivalunnan kasvu on kokonaisuudessaan noin 250–300 % eli selvitysalueella pintavalunta likimain kolminkertaistuu rakentamisesta johtuen.



## 5.4 Hulevesien hallintajärjestelmien toiminta

### 5.4.1 Koukkujärven viivytyksratkaisut

Mallinnuksessa Koukkujärven purkuvirtaamia rajoittava patorakenne on sijoitettu Koukkujärven ja Peräkorven asuinalueita yhdistävän kadun alittavan rummun yhteyteen. Tällöin padon rajaamalle tulva-alueelle pystytään johtamaan Koukkujärven lähiympäristön lisäksi myös mahdollisimman suuret osat Koukkujärven ja Peräkorven asemakaava-alueiden hulevesistä. Pato säädettiin siten, että sen huippuvirtaama rajoittuu noin arvoon 100 l/s. Vaikka rakentamista edeltävä kerran viidessä vuodessa esiintynyt purkuvirtaama on noin 50 l/s, padon suurin purkuvirtaama kannattaa pitää esitetyllä tasolla (100 l/s), jotta Koukkujärven tulvatilavuus tyhjenee kohtuullisessa ajassa. Mitoitustilanteessa Koukkujärven vedenpinnan oletettiin olevan yläveden korkeudessa, noin tasossa +126,00 m. Mallinnuksen keskeisiä tuloksia on koottu taulukkoon 18. Koukkujärven viivytyksratkaisut ja tulva-alueen karkea raja-  
aus on esitetty kuvassa 10.



**Kuva 10.** Koukkujärven viivytyksratkaisu ja tulva-alueen karkea laajuus.

**Taulukko 18.** Mallinnuksen tuloksia Koukkujärven järjestelmässä.

	1/1 a CDS, 6 h ka. 0,06 mm/min	1/5 a CDS, 6 h ka. 0,09 mm/min
Koukkujärven viivytystilavuus	1200 m <sup>3</sup>	4200 m <sup>3</sup>
Vedenpinnan tason muutos	+ 2 cm	+ 6 cm
Padon suurin purkuvirtaama	80 l/s	90 l/s
Tulvatilavuuden tyhjeneminen	5 h	24 h

Mallinnuksen perusteella voidaan todeta, että Koukkujärven järjestelmä toimii hyvin sekä usein toistuvilla sadetapahtumilla että kerran viidessä vuodessa esiintyvässä mitoitustilanteessa. Koukkujärven käyttö virtaamia tasaavana al-



taana on järkevää. Viivytystilavuudet ovat kohtuullisia ja niiden vaikutus vedenpinnan korkeuteen on vähäistä. Tulvatilavuus tyhjenee riittävän nopeasti myös mitoitustilanteessa. Todellisuudessa tulvatilavuuden tyhjenemisaikaa voidaan pitää hieman esitettyä suurempana, koska *hule-9*-järjestelmät purkavat varastotilavuutensa järveen hitaasti, 12 tunnin aikana sadetapahtuman päättymisen jälkeen. Mallinnuksessa *hule-9*-järjestelmien tyhjenemisestä aiheutuvia alhaisia virtaamia ei ole huomioitu. Todetaan, että kokonaisuudessaan Koukkujärven purkuvirtaamat saadaan rajoitettua hyvälle tasolle ja hallintatoimenpiteet on toteutettavissa ilman suuria rakennustoimenpiteitä.

Tulvatarkastelussa (1/100a) Koukkujärven viivytystilavuudet nousevat suuriksi, mutta veden pinnan nousu on vielä kohtuullisella tasolla ottaen huomioon, että kyseessä on hyvin poikkeuksellinen tilanne. Järvestä purkautuvat virtaamat pysyvät edelleen lähes tavoitellulla tasolla. Tulvatarkastelujen tulokset on esitetty *taulukossa 19*.

**Taulukko 19.** Koukkujärven järjestelmä 1/100a tulvatilanteissa.

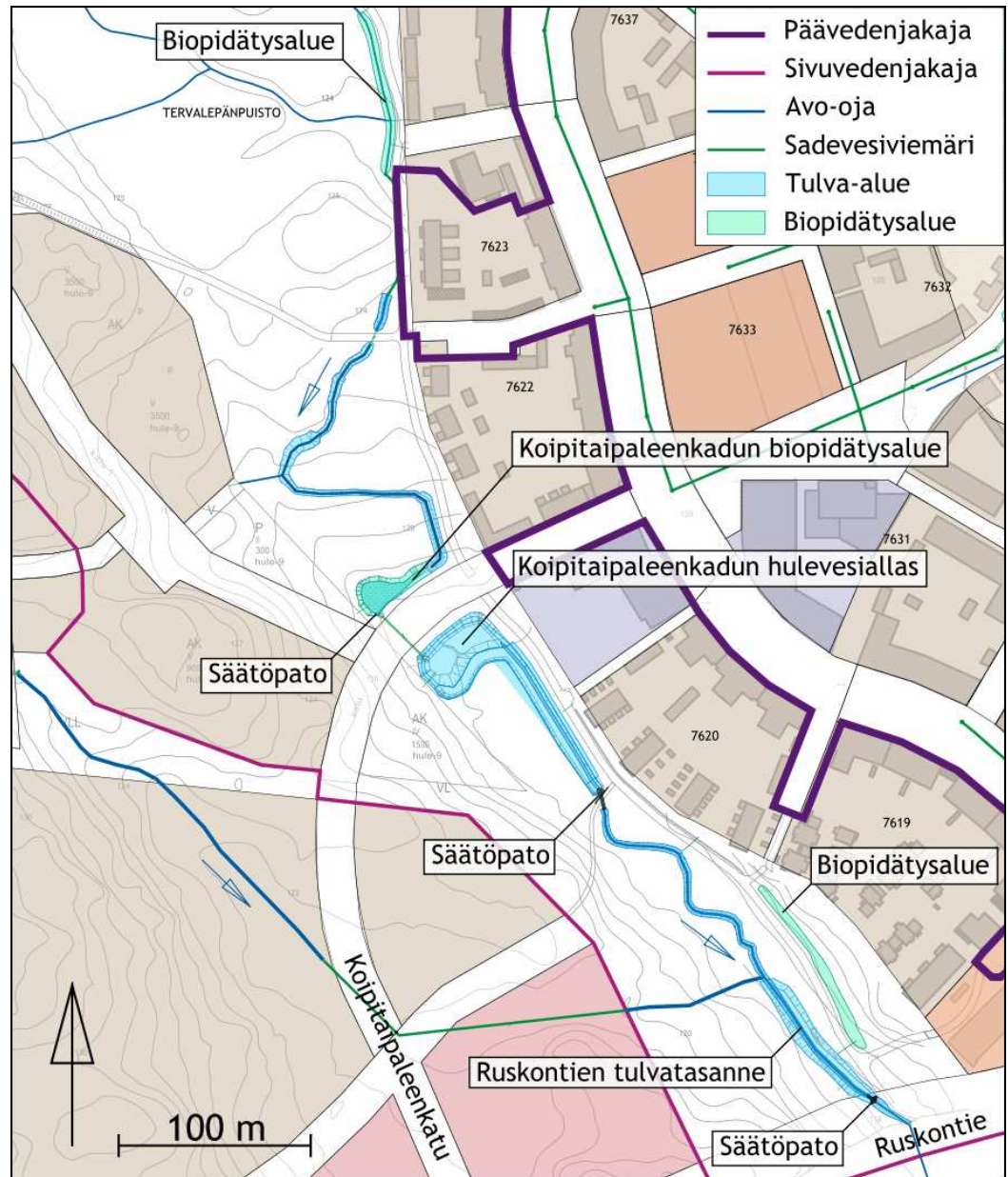
	1/100 a CDS, 60 min ka. 0,60 mm/min	1/100 a tasainen, 24 h ka. 0,06 mm/min
Koukkujärven viivytystilavuus	5800 m <sup>3</sup>	11 000 m <sup>3</sup>
Vedenpinnan tason muutos	+ 8 cm	+14 cm
Padon suurin purkuvirtaama	150 l/s	100 l/s
Tulvatilavuuden tyhjeneminen	32 h	55 h

#### 5.4.2 Vuoreskeskuksen länsipuiston hulevesijärjestelmät

Vuoreskeskuksen länsipuiston hulevesijärjestelmä on hajautettu ja monivaiheinen. Järjestelmän ytimen muodostavat Koipitaipaleenkadun pohjoispuolelle sijoittuva biopidätysalue ja kadun eteläpuolelle sijoittuva hulevesiallas, jotka ovat yhteydessä toisiinsa. Länsipuiston pohjoisosissa järjestelmää on täydennetty laskuojan vaihtelevalla muotoilulla sekä vesiä seisottavalla biopidätysalueella. Koipitaipaleenkadun eteläpuoleisessa hulevesialtaassa on pysyvä vesipinta ja se on varustettu tulvatasanteella. Hulevesialtaan jälkeen hallintaa on tehostettu laskuojan muotoilulla sekä Ruskontien tulvatasanteella. Järjestelmä on kuvattu yksityiskohtaisemmin *kappaleessa 2.3.2*. Länsipuistoon suunnitellut hulevesien hallintatoimenpiteet on esitetty *kuvassa 11*.

##### *Koipitaipaleenkadun biopidätysalue ja hulevesiallas*

Länsipuiston järjestelmä mallinnettiin siitä tehtyjen suunnitelmien mukaisesti. Altaiden tilavuuskäyrät arvioitiin asemapiirustusten perusteella. Koipitaipaleenkadun pohjoispuoleiselta biopidätysalueelta vesi imeytyy painanteen rakennekerrokseen ja johtuu salaojituksella Koipitaipaleenkadun alittavaan B 600 rumpuun. Vasta veden pinnan noustua 30 cm altaan ylivuodon tasoon, +118,10 m, purkuvirtaama biopidätysalueelta Koipitaipaleenkadun rumpuun ja eteläpuoleiseen hulevesialtaaseen kasvaa. Hulevesialtaan vesitilavuus pysyvän vesipinnan (+116,00 m) alapuolella on noin 900 m<sup>3</sup> ja tämän yläpuolelle muodostuu tulvatasanne. Tulvatasanne tyhjenetään 200 mm tyhjennysputkella, jonka vesijuoksu on tasossa +116,00. Tulvatasanteen ylivuoto on tasossa +116,50. Mallinnuksen keskeisiä tuloksia on esitetty *taulukoissa 20 ja 21*.



**Kuva 11.** Länsipuistoon suunnitellut hulevesien hallintajärjestelmät.

**Taulukko 20.** Mallinnuksen tuloksia Länsipuiston järjestelmässä.

	1/1 a, CDS 6 h ka. 0,06 mm/min	1/5 a, CDS 6 h ka. 0,09 mm/min
<b>Koipitaipaleenkadun biopidätysalue</b>		
Suurin tulovirtaama	290 l/s	800 l/s
Suurin purkuvirtaama	220 l/s	640 l/s
Padottuva vesimäärä	140 m <sup>3</sup>	220 m <sup>3</sup>
HW	+118,35 m	+118,62 m
Tyhjeneminen tasoon 117,90 m	8 h	9 h
<b>Koipitaipaleenkadun hulevesiallas</b>		
Suurin tulovirtaama	260 l/s	800 l/s
Suurin purkuvirtaama	40 l/s	250 l/s
Padotus tason +116.00 yläpuolella	650 m <sup>3</sup>	1230 m <sup>3</sup>
HW	+116,40 m	+116,73 m
Tyhjeneminen tasoon 116,10 m	10 h	12 h

Tarkastelujen perusteella todettiin, että Länsipuiston hulevesisuunnitelmassa esitetyt hulevesien hallintajärjestelmät toimivat mitoitustilanteissa suunnitellulla tavalla. Altaiden vesitilavuus on mitoitustilanteelle riittävä. Mallinnuksella havaitut vedenpinnan korkeudet ja vaihteluvälit vastasivat tehdyissä suunnitelmissa esitettyjä arvoja ja niitä voidaan käyttää jatkosuunnittelussa. Kerran 100 vuodessa esiintyvissä tulvatilanteissa järjestelmä käyttäytyy edelleen suunnitellulla tavalla. Padottuvat vesimäärät ovat suunnitelluilla tasoilla ja altaiden tyhjenemisajat ovat riittävän nopeat, noin 12 tuntia. Tyhjenemisajat voivat olla hieman esitettyä suurempia lähialueiden *hule-9* -järjestelmien tyhjenemisvirtaamista johtuen. Tyhjenemisvirtaamat ovat kuitenkin alhaisia, joten tällä ei ole suurta merkitystä koko järjestelmän toimintaan. Sama pätee kaikkiin muihinkin Vuoreksen alueellisiin hulevesijärjestelmiin. Tarkastelujen perusteella todettiin myös, että Koipitaipaleenkadun hulevesialtaasta purkautuvia virtaamia saadaan rajoitettua huomattavasti myös hyvin poikkeuksellisessa tilanteessa. Tulvatilanteen tuloksia on esitetty *taulukossa 21*.

**Taulukko 21.** Länsipuiston järjestelmän käytös 1/100a tulvatilanteessa.

	1/100 a CDS, 60 min ka. 0,60 mm/min	1/100 a tasainen, 24 h ka. 0,06 mm/min
<b>Koipitaipaleenkadun biopidätysalue</b>		
Suurin tulovirtaama	1190 l/s	85 l/s
Suurin purkuvirtaama	890 l/s	85 l/s
Padottuva vesimäärä	300 m <sup>3</sup>	100 m <sup>3</sup>
HW	+118,80 m	+118,23 m
Tyhjeneminen tasoon 117,85 m	6 h	8 h
<b>Koipitaipaleenkadun hulevesiallas</b>		
Suurin tulovirtaama	1060 l/s	100 l/s
Suurin purkuvirtaama	390 l/s	100 l/s
Padotus tason +116 yläpuolella	1430 m <sup>3</sup>	980 m <sup>3</sup>
HW	+116,84 m	+116,60 m
Tyhjeneminen tasoon 116,10 m	11 h	10 h

#### *Ruskontien tulvatasanne*

Ruskontien tulvatasanne patorakenteineen on suunniteltu rakentamisen aikaiseksi laskeutusaltaaksi, mutta sitä voidaan hyödyntää myös rakentamisen jälkeisessä tilanteessa. Länsipuiston suunnitelmissa patorakenne on esitetty toteutettavaksi suotopatona, jonka ylivuoto tapahtuu padon yli noin tasossa +115,50 m. Koska veden suotautuminen padon läpi on hidasta, mallinnuksessa oletettiin vedenpinnan olevan likimain ylivuodon tasossa (+115.45 m) mitoitussateen alkaessa. Altaan suurimmat hetkelliset tulovirtaamat ovat CDS-sateilla hyvin suuria johtuen altaan länsipuolisilta kaava-alueilta tulevista hulevesivirtaamista, joita on viivytetty vain *hule-9* -menetelmillä. Ruskontien tulvatasanteen mallinnustuloksia on koottu *taulukkoon 22*.

**Taulukko 22.** Mallinnuksen tuloksia Ruskontien tulvatasanteella.

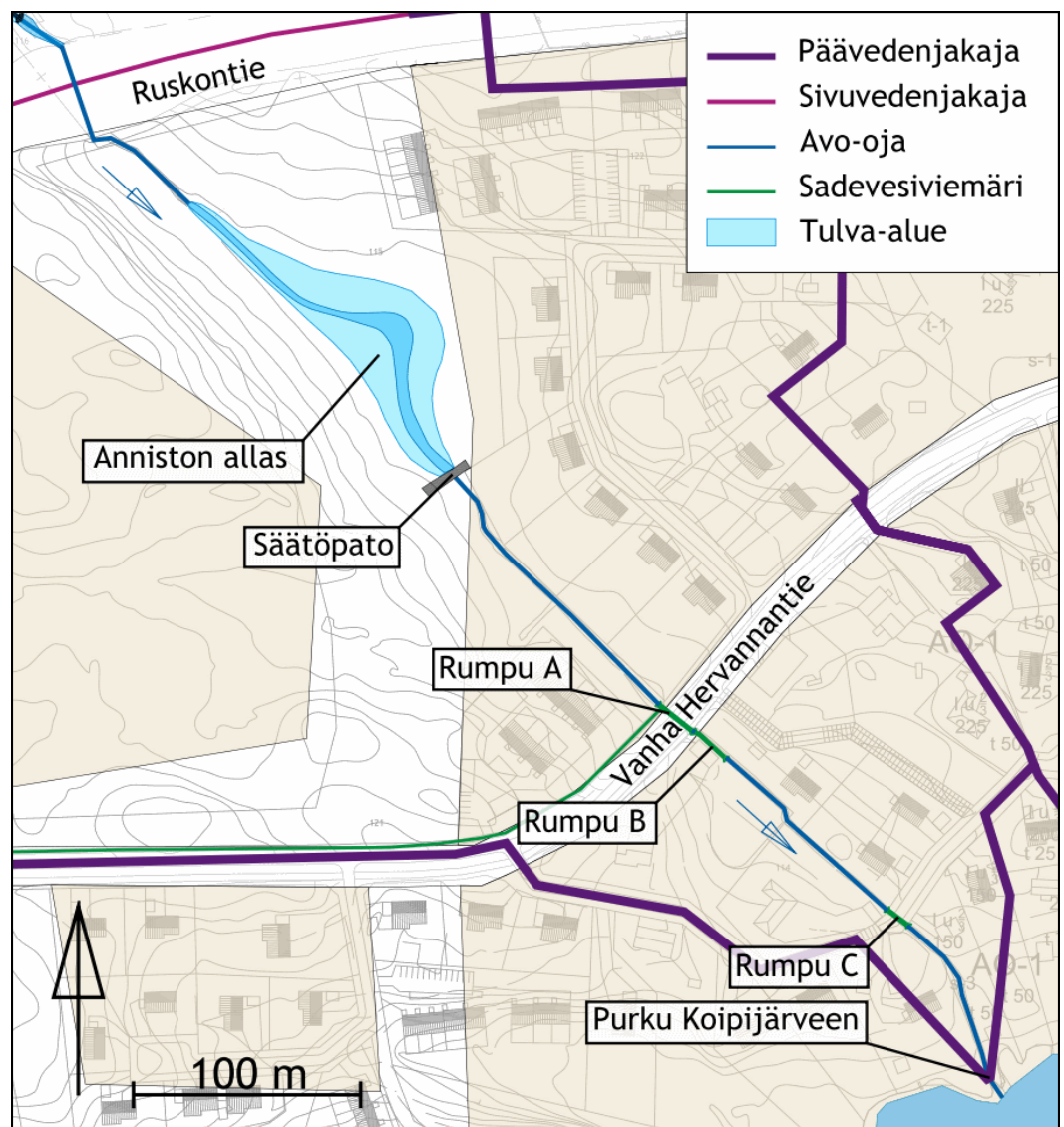
	1/1 a, CDS 6 h ka. 0,06 mm/min	1/5 a, CDS 6h ka. 0,09 mm/min	1/100 a CDS, 60 min
Suurin tulovirtaama	900 l/s	1640 l/s	2350 l/s
Suurin purkuvirtaama	430 l/s	780 l/s	920 l/s
Padottuva vesimäärä	430 m <sup>3</sup>	710 m <sup>3</sup>	900 m <sup>3</sup>
Kokonaistilavuus	800 m <sup>3</sup>	1080 m <sup>3</sup>	1270 m <sup>3</sup>
HW	+115,90 m	+116,14 m	+116,30 m

*Taulukosta 22* nähdään, että suurista tulvatasanteelle tulevista huippuvirtaamista huolimatta suunniteltu Ruskontien tulvatasanne ja suotopato tasaavat virtaamia hyvin laskien purkuvirtaamat kohtuulliselle tasolle. Ongelman muodostaa kuitenkin suuri veden padottuminen ja etenkin huomattava veden pinnan nousu tulva-alueella. Veden pinnan nousu saattaa aiheuttaa haitallista tulvimista tulvatasanteen itäpuoleiselle kevyenliikenteen väylälle ja Ruskontien tulevaan kevyen liikenteen alikulkuun. Tulvimisen vähentämiseksi Ruskontien tulvatasanteen suurinta purkuvirtaamaa ei tule kuitenkaan merkittävässä määrin kasvattaa, koska tällöin ongelmat siirtyisivät vain laskuojan alaosiin ja Anniston hulevesialtaan viivytyksapasiteetti ylittyisi. Vaihtoehtoja tilanteen parantamiseksi on käsitelty *kappaleessa 6.2*.

#### 5.4.3 Anniston hulevesijärjestelmät

##### *Anniston hulevesiallas*

Anniston hulevesialtaan sijainti on esitetty *kuvassa 12*. Anniston hulevesiallas mallinnettiin karkeasti siitä tehtyjen yleissuunnitelmien mukaisesti, jossa altaan viivytystilavuus on noin 1800 m<sup>3</sup>. Altaan pohjan keskimääräiseksi koroksi asetettiin +114,20 m. Altaan keskellä kulkee 0,3 metriä syvä oja, jonka yläreunasta, tasosta +114,50 alkaa noin 0,7 metriä syvä tulvatasanne.



**Kuva 12.** Anniston hulevesialtaan ja tarkasteltujen rumpujen sijainnit.



Aikaisemmissa yleissuunnitelmissa Anniston altaan rakentamattoman tilanteen purkuvirtaamaksi (1/5a) on arvioitu noin 480 l/s. Nyt tehdyssä mallinnuksessa todettiin, etenkin Koukkujärven vaikutuksesta, että oikeampi rakentamista edeltävä virtaama on alhaisempi, noin 390 l/s (1/5a). Altaan säätöpatto mallinnettiin suunnitelmien perusteella siten, että sen tyhjennysputki uoman pohjan tasossa on 400 mm ja sen kaltevuus 2 %. Padon ylivuoto tapahtuu padon yli ja on tasossa +114,80. Patorakenteen maksimitaso on +115,20. Mallinnuksen tuloksia on koottu *taulukko* 23.

**Taulukko 23.** Mallinnuksen tuloksia Anniston hulevesialtaassa.

	1/1 a, CDS 6 h ka. 0,06 mm/min	1/5 a, CDS 6h ka. 0,09 mm/min	1/100 a CDS, 60 min ka. 0,60 mm/min
Suurin tulovirtaama	480 l/s	880 l/s	1100 l/s
Suurin purkuvirtaama	260 l/s	480 l/s	650 l/s
Padottuva vesimäärä	580 m <sup>3</sup>	2000 m <sup>3</sup>	2280 m <sup>3</sup>
HW	+114,60 m	+114,89 m	+114,94 m

*Taulukosta 23* nähdään, että suunnitelluilla hulevesien hallintamenetelmillä Anniston hulevesialtaaseen kohdistuu liian suuri kuormitus Ruskontien pohjoispuolelta, mistä johtuen altaan kapasiteetti ylittyy hieman jo viiden vuoden toistuvuudella. Ongelmaa tulee lähtökohtaisesti ratkaista Ruskontien pohjoispuoleisella alueella, mitä käsitellään *kappaleessa* 6.2.

#### *Anniston rummut*

Annistossa Koukkujärven laskuoja alittaa Vanhan Hervannantien (A), Vanhan Hervannan tien eteläpuoleisen pihan (B) ja Annistonkaaren (C) B 800 rummuilla. Rumpujen sijainnit on esitetty *kuvassa* 12 edellisellä sivulla. Koska Anniston länsiosissa uusien alueiden vesiä ei pääosin pystytä johtamaan Anniston hulevesialtaaseen, näiden alueiden kuormitus kohdistuu suoraan näihin kolmeen rumpuun. Tulvaongelmia on esiintynyt etenkin rumpujen A ja C välisellä osuudella, jossa ojan kaltevuus on noin 100 metrin matkalla vain 0,3 %. Lisäksi oja on tällä osuudella uomaltaan hyvin matala vain 0,5–1,0 metriä ja rumpu C on likimain nollakaltevuudessa. Mallinnettuja virtaamia rummuissa sekä vedenpinnan tasoja ennen rumpuja on koottu *taulukko* 24.

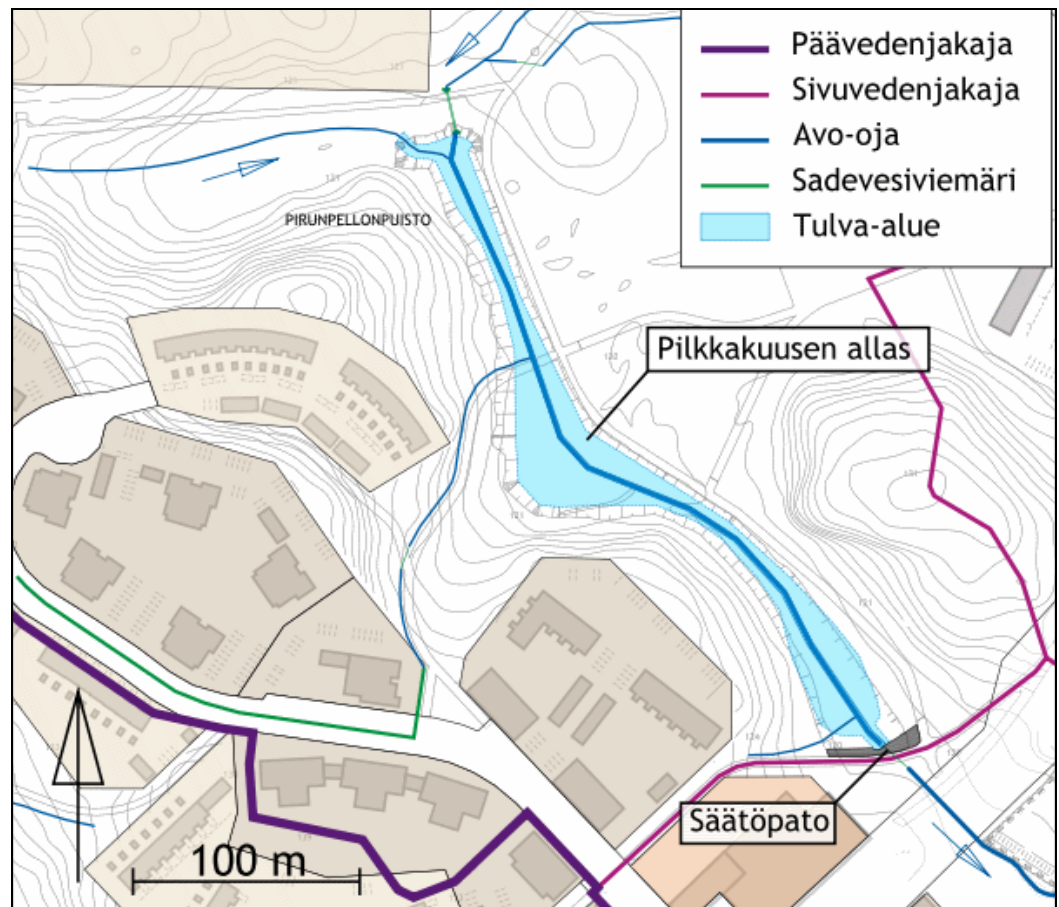
**Taulukko 24.** Mallinnuksen tuloksia Anniston rummuilla.

Rumpu A ~1,6 % Rumpu C ~1,0 % Rumpu C ~0 %	1/1 a, CDS 6 h ka. 0,06 mm/min	1/5 a, CDS 6h ka. 0,09 mm/min
Virtaama rummussa A	540 l/s	940 l/s
Vedenpinnan taso ennen A	+113,87 m	+114,20 m
Virtaama rummussa B	540	940 l/s
Vedenpinnan taso ennen B	+113,48 m	+113,63 m
Virtaama rummussa C	580 l/s	880 l/s
Vedenpinnan taso ennen C	+113,30 m	+113,54 m

Mallinnuksen perusteella todetaan, että vuositasolla virtaamat ovat vielä johdettavissa alueen läpi kohtuudella edellyttäen, että rummut ja ojan uoma ovat hyvässä kunnossa. Paikallista tulvimista voi kuitenkin jo tällöin esiintyä rumpujen B ja C välisellä osuudella. Viiden vuoden toistuvuudella tulvatilanne muodostuu jo selvästi pahemmaksi. Tulvariskin pienentämiseen tähtääviä parannustoimenpiteitä on käsitelty *kappaleessa* 6.2.

#### 5.4.4 Pilkkakuusen hulevesiallas

Pilkkakuusen hulevesiallas sijaitsee Rimmin asemakaava-alueella Virolaisten laskuojan valuma-alueella. Altaan sijainti ja karkea tulva-alueen rajausta on esitetty *kuvassa 13*. Allas mallinnettiin siten, että sen pohjan keskimääräinen taso oli +118,40 m. Altaan keskellä kulkee keskimäärin noin 0,6 m syvyinen oja, joten tulvatasanteen katsottiin alkavan tasosta +119,00. Ojan pohjalla sijaitsevaksi altaan purkuputkeksi on suunnitelmissa esitetty 200 mm putkea. Altaan ylivuoto patorakenteen yli alkaa tasosta +119,55 m. Altaan viivytystilavuudeksi viiden vuoden toistuvuudella on aikaisemmissa suunnitelmissa esitetty noin 3500 m<sup>3</sup>.



**Kuva 13.** Pilkkakuusen hulevesialtaan sijainti.

Mallinnuksessa Pilkkakuusen hulevesiallas toimii likimain suunnitellulla tavalla. Viiden vuoden toistuvuudella purkuvirtaama jäi 200 mm putkella 3 % kaltevuudella hieman suunniteltua 100 l/s alhaisemmaksi (n. 80 l/s), joten altaan purkuputken välityskykyä kasvatettiin hieman. Uutena putkena käytettiin 250 mm putkea 1 % kaltevuudella, jolla kerran viidessä vuodessa esiintyvaksi purkuvirtaamaksi muodostui 110 l/s. Altaan viivytystilavuudet pysyivät suunnitellulla tasolla. Kerran viidessä vuodessa esiintyvällä mitoittavalla sadetapahtumalla altaan viivytystilavuudeksi muodostui 3050 m<sup>3</sup>. Tulvatasanne tyhjeni riittävän nopeasti, noin 10 tunnissa. Jos mitoitusasteen alkaessa allas oli likimain tyhjä, vesi ei noussut ylivuodon tasolle (1/5a). Kerran vuodessa esiintyvillä sadetapahtumilla vesipinta nousee hieman tulvatasanteelle, mutta tyhjenee muutamassa tunnissa sateen päättymisen jälkeen. Mallinnuksen keskeisiä tuloksia on koottu *taulukkoon 25*.

**Taulukko 25.** Mallinnuksen tuloksia Pilkkakuusen hulevesialtaassa.

	1/1 a CDS, 6 h ka. 0,06 mm/min	1/5 a CDS, 6h ka. 0,09 mm/min
Viivytystilavuus	1200 m <sup>3</sup>	3050 m <sup>3</sup>
Ylin vedenpinnan taso	+119,14 m	+119,43 m
Suurin purkuvirtaama	90 l/s	110 l/s
Tulvatasanteen tyhjeneminen	4 h	10 h

Tarkastelluissa kerran 100 vuodessa esiintyvissä tulvatilanteissa allas toimii edelleen kohtuullisen hyvin. Viivytystilavuudet nousevat suuriksi etenkin pitkällä 24 h sadetapahtumalla, mutta ovat edelleen kohtuudella hallittavissa ylivuodon ansiosta. Myöskään ylivuodon virtaama ei nouse haitallisen suureksi. Tulvatilanteen mallinnustulokset on esitetty *taulukossa 26*.

**Taulukko 26.** Pilkkakuusen hulevesiallas 1/100a tulvatilanteissa.

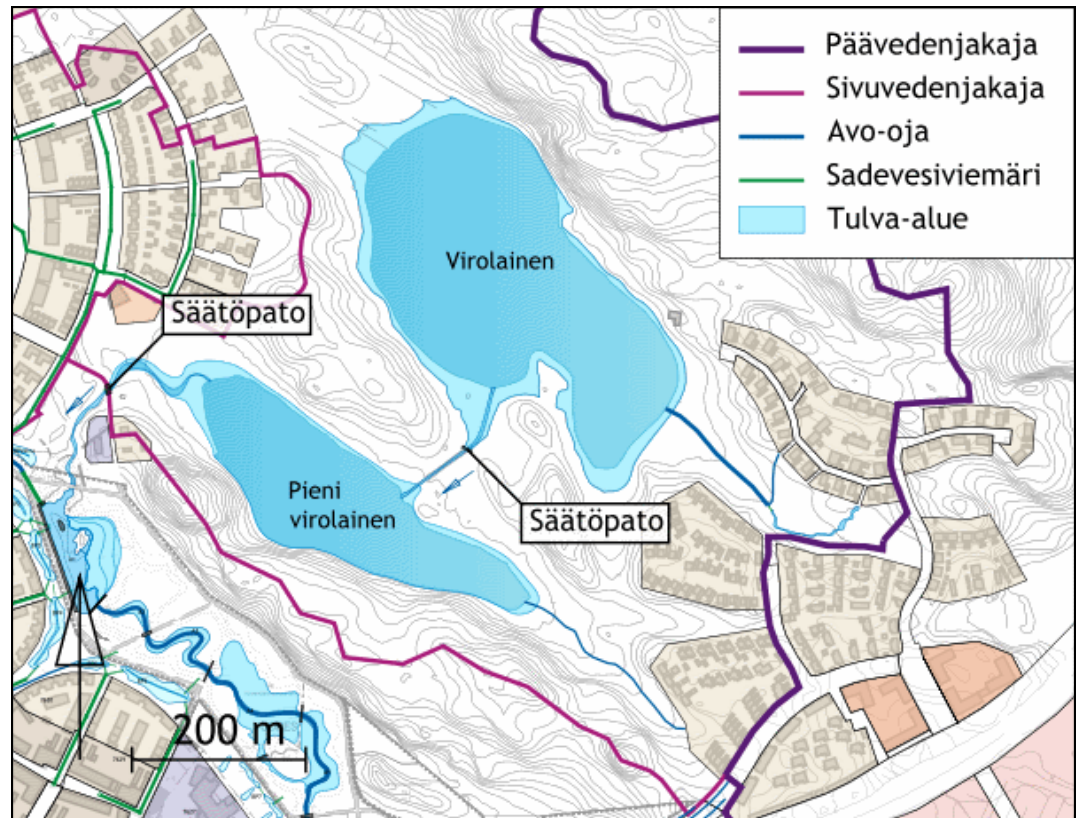
	1/100 a CDS, 60 min ka. 0,60 mm/min	1/100 a tasainen, 24 h ka. 0,06 mm/min
Viivytystilavuus	3700 m <sup>3</sup>	4200 m <sup>3</sup>
Ylin vedenpinnan taso	+119,53 m	+119,60 m
Suurin purkuvirtaama	115 l/s	180 l/s
Tulvatasanteen tyhjeneminen	14 h	18 h

#### 5.4.5 Mäyränmäenpuiston hulevesijärjestelmä

Virtaamat ja vesimäärät Mäyränmäenpuiston hulevesijärjestelmässä havaittiin kohtuullisiksi, joten niillä ei ole mainittavaa vaikutusta Virolaisten käyttäytymiseen rankkasadetilanteissa eivätkä ne aiheuta ongelmia Mäyränmäenpuistossa. Kuitenkin Mäyränmäenpuistosta Virolaiseen johtavan laskuojan suunnittelussa tulee ottaa huomioon virtaamien hidastaminen. Hidastaminen voidaan toteuttaa tekemällä ojasta profiililtaan vaihteleva ja mahdollisimman luonnonmukainen. Mallinnuksella saadut huippuvirtaamat Mäyränmäenpuiston laskuojassa ovat 170 l/s (1/1a) ja 320 l/s (1/5a).

#### 5.4.6 Virolaisten viivytysratkaisut

Virolaisen ja Pienen Virolaisen hulevesiä viivyttävät ominaisuudet ovat valuma-alueitasolla hyvin merkittävät. Vaikka mallinnuksessa oletettiin, että järvet ovat lähtötilanteessa ylävedenpinnan tasossa, ne kykenivät pidättämään vuosittaisista sateista suurimman osan lähes kokonaan. Järvien suuresta pinta-alasta johtuen myös kerran viidessä vuodessa esiintyvillä sadetapahtumilla niiden pinnan korkeuden muutokset jäivät vähäisiksi, noin 4–6 cm. Lähtötilanteessa, ylävedenpinnan korkeudella Virolaisen purkuvirtaamaksi arvioitiin noin 70 l/s. Viiden vuoden toistuvuudella purkuvirtaama kasvaa noin 50 % tasoon 110 l/s. Pienessä virolaisessa lähtötilanteessa purkuvirtaamaksi arvioitiin noin 90 l/s, mikä noin kaksinkertaistuu viiden vuoden toistuvuudella tasoon 200 l/s. Purkuvirtaamien säätäminen halutulle, noin 100–200 l/s tasolle edellyttää säätöpatojen rakentamista Virolaisen ja Pienen Virolaisen laskuojiin. Suunnitellut hulevesien hallintatoimenpiteet on esitetty *kuvassa 14*. Mallinnuksen tuloksia mitoitustilanteessa on koottu *taulukkoon 27*.



**Kuva 14.** Virolaisten viivytyksratkaisut.

**Taulukko 27.** Mallinnuksen tuloksia Virolaisessa ja Pienessä Virolaisessa.

	1/1 a CDS, 6 h ka. 0,06 mm/min	1/5 a CDS, 6 h ka. 0,09 mm/min
<b>VIROLAINEN</b>		
Viivytystilavuus	1900 m <sup>3</sup>	5300 m <sup>3</sup>
Vedenpinnan tason muutos	+ 2 cm	+ 6 cm
Padon suurin purkuvirtaama	90 l/s	110 l/s
Tulvatilavuuden tyhjeneminen	10 h	18 h
<b>PIENI VIROLAINEN</b>		
Viivytystilavuus	440 m <sup>3</sup>	1700 m <sup>3</sup>
Vedenpinnan tason muutos	+ 1 cm	+ 4 cm
Padon suurin purkuvirtaama	150 l/s	200 l/s
Tulvatilavuuden tyhjeneminen	6 h	18 h

Kerran 100 vuodessa esiintyvissä poikkeustilanteissa järvet toimivat edelleen tärkeinä virtaamia puskuroivina altaina. Järviin padottuvat vesimäärät kasvavat selvästi etenkin pitkällä sadetapahtumilla ja vastaavasti järvien purkuvirtaamat kasvavat hieman suuremmiksi. Purkuvirtaamien kasvu on kuitenkin verrattain vähäistä. Järvien vedenpinnat laskevat takaisin lähtötilanteen tasolle poikkeustilanteenkin jälkeen noin kahden vuorokauden kuluessa. Mallinnuksen tuloksia kerran sadassa vuodessa esiintyvissä poikkeustilanteissa on koottu taulukkoon 28.

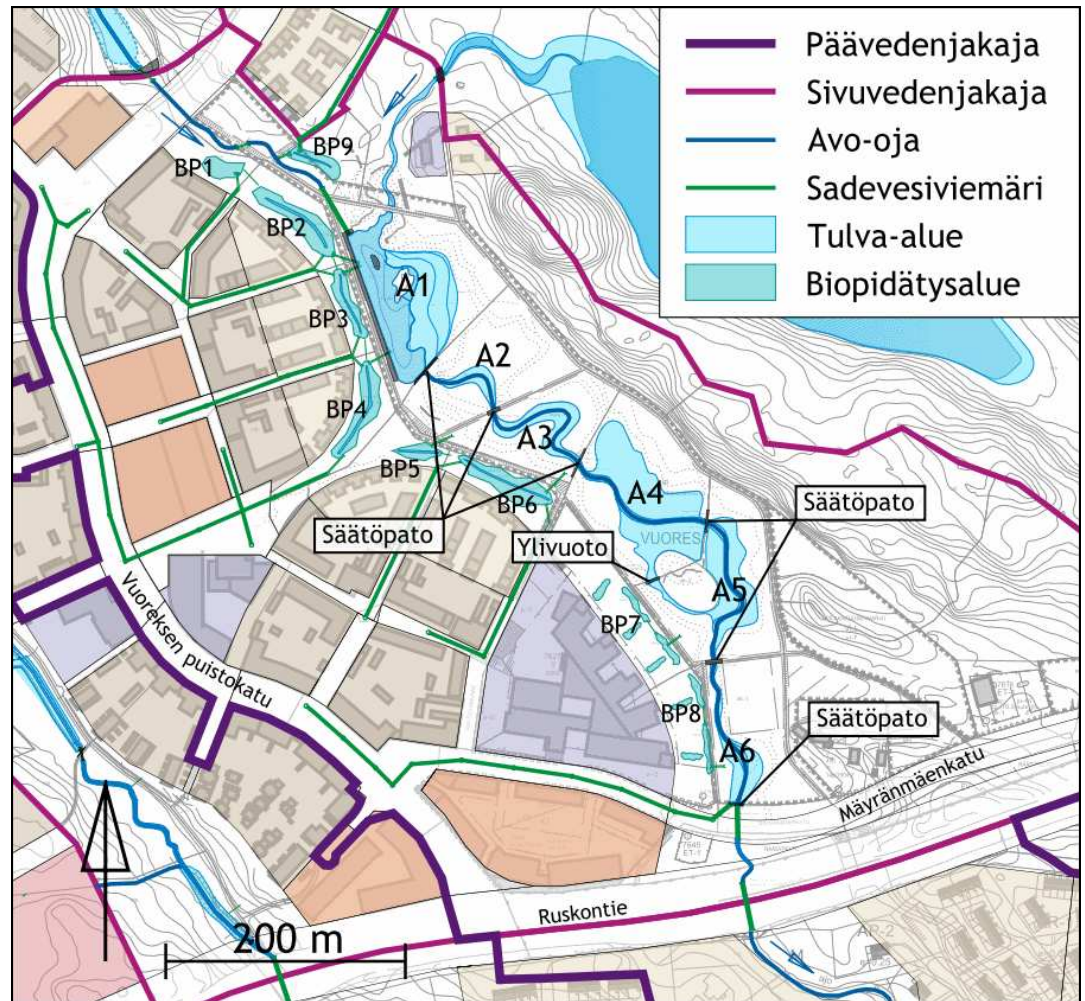


**Taulukko 28.** Virolaisessa ja Pieni Virolainen tulvatilanteessa 1/100a.

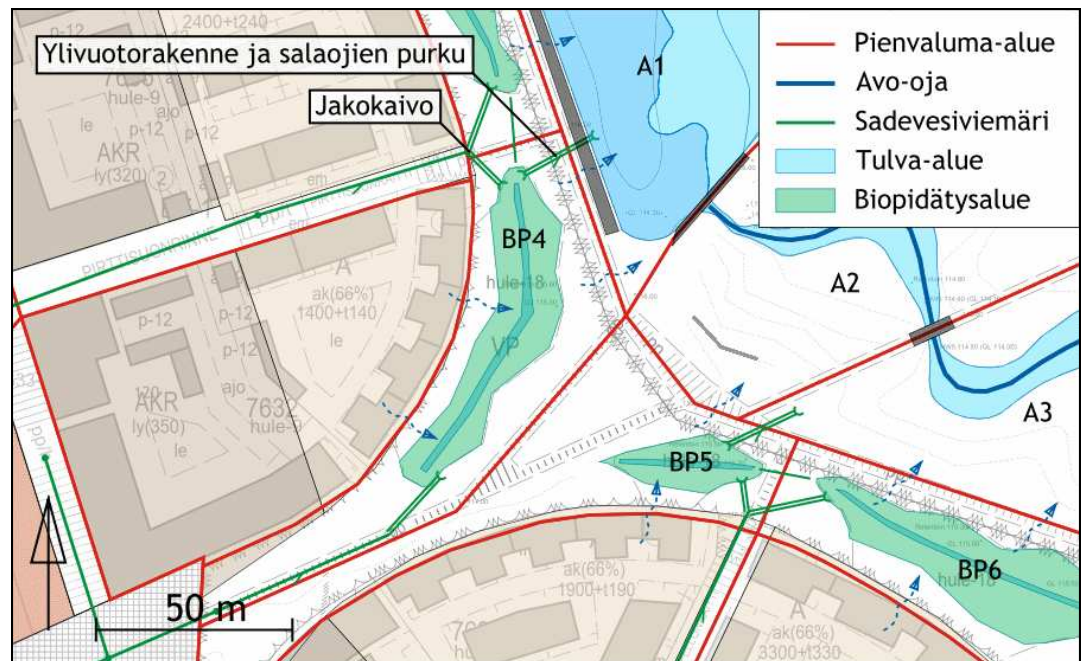
	1/100 a CDS, 60 min ka. 0,60 mm/min	1/100 a tasainen, 24 h ka. 0,06 mm/min
<b>VIROLAINEN</b>		
Viivytystilavuus	6800 m <sup>3</sup>	12 000 m <sup>3</sup>
Vedenpinnan tason muutos	+ 7 cm	+ 13 cm
Padon suurin purkuvirtaama	130 l/s	180 l/s
Tulvatilavuuden tyhjeneminen	20 h	32 h
<b>PIENI VIROLAINEN</b>		
Viivytystilavuus	2300 m <sup>3</sup>	5800 m <sup>3</sup>
Vedenpinnan tason muutos	+ 6 cm	+ 14 cm
Padon suurin purkuvirtaama	230 l/s	175 l/s
Tulvatilavuuden tyhjeneminen	24 h	40 h

#### 5.4.7 Vuoreksen keskuspuiston hulevesijärjestelmät

Vuoreksen keskuspuiston hulevesien hallintajärjestelmä mallinnettiin kuutena erillisenä altaana (A1–A6), joista ylimmässä (A1) on pysyvä vesipinta tasossa +114,80 m. Altaiden muoto ja tilavuus arvioitiin puiston yleissuunnitelman perusteella. Tarkkoja tilavuuskäyriä tai tasaussuunnitelmaa altaista ei ollut saatavissa työtä tehtäessä. Mallissa altaiden A2–A6 purkupisteisiin asetettiin ojan pohjan tasoon säätöpato, joka ei rajoittanut laskuojan perusvirtaamaa. Purkurakenteet on mallinnettu sellaisina suorakaidepatoina, että purkuvirtaamat saatiin mahdollisimman hyvin yleissuunnitelmassa esitettyjen suuruisiksi. Keskuspuiston altaita täydennettiin mallintamalla puiston länsireunaan sijoittuvat biopidätysalueet pieninä painanteina. Atelier Dreiseitl:n suunnitelmissa esitettyjen biopidätysalueiden (BP1–BP8) lisäksi malliin rakennettiin uusi biopidätysalue (BP9) puiston koilliskulmaan hallitsemaan Virolaisen asemakaava-alueen vesiä, joita ei voida sadevesiviemärin korkotasosta johtuen johtaa Pienen Virolaiseen. Biopidätysalueet mallinnettiin siten, että ne tyhjenevät hitaasti salaojituksen kautta jatkuvasti, mutta varsinainen purkuvirtaama Keskuspuistoon syntyy vasta kun vedenpinta ylittää ylivuodon tason. Ylivuodon taso asetettiin suunnitelmakuvien perusteella 0,3 metriä painanteen pohjan yläpuolelle. Painanteiden tilavuuskäyrät arvioitiin karttatarkasteluna suunnitelmakuvista. Vuoreksen Keskuspuistoon suunnitellut hulevesien hallintatointenpiteet on esitetty *kuvassa 15*. Biopidätysalueiden liittymistä Keskuspuiston järjestelmään on havainnollistettu *kuvassa 16*.



**Kuva 15.** Keskuspuiston hulevesien hallintajärjestelmät. Tekojärvi ja tulva-alueet merkitty kuvaan tunnuksin A1–A6 ja biopidätysalueet BP1–BP9.



**Kuva 16.** Biopidätysalueet (BP) osana Keskuspuiston hulevesijärjestelmää.

Keskuspuiston hulevesien hallintajärjestelmän havaittiin mallinnuksen perusteella toimivan mitoitustilanteessa (1/5a) kokonaisuutena hyvin. Tekojärvi (A1) tasaa virtaamia riittävästi ja siinä tapahtuva veden pinnan nousu kohutuullista. Tekojärven patorakenne toimii siten, että pitkäkestoiset, matalan intensiteetin sadetapahtumat eivät juuri vaikuttaneet sen veden pinnan korkeuteen. Suurin padotus syntyi lyhyillä, erittäin rankoilla sadetapahtumilla. Näillä padottuminen aiheutti noin 10–15 cm veden pinnan nousua, joka kuitenkin palautui lähtötasoonsa muutamassa tunnissa. Tulo- ja purkuvirtaamat tekojärveen olivat samaa suuruusluokkaa aikaisemmissa suunnitelmissa esitettyjen arvojen kanssa.

Tekojärven alapuoliset tulva-alueet (A2-A6) toimivat mallinnuksessa likimain siten, että ne päästivät yläpuolisen virtaaman lävitseen ja padottivat kaikki tämän ylittävät virtaamapiikit. Padotus muodostui suurimmaksi tulva-alueilla A3 ja A4, joissa viiden vuoden toistuvuudella viivytystilavuudeksi muodostui noin 1000 m<sup>3</sup> ja noin 1600 m<sup>3</sup>. Muilla tulva-alueilla viivytystilavuudet jäivät samassa tilanteessa alle 300 m<sup>3</sup>. Purkuvirtaamaksi tulva-alueelta A6 Mäyränmäenkadun rumpuun muodostui noin 510 l/s. Mäyränmäenkadun ja Ruskontien väliset alueet (pienvaluma-alueet 7.17 ja 7.18) aiheuttavat pientä virtaamien kasvua, mutta silti virtaama Ruskontien rummussa jää tasoon 620 l/s. Näin ollen järjestelmän virtaamia tasaavaa vaikutusta voidaan pitää erinomaisena, koska rakentamista edeltävä huippuvirtaama on arvioitu luokkaan 600–700 l/s. Tulee kuitenkin huomata, että keskuspuiston altaiden purkura-kenteista ja tasauksista ei ollut työtä tehdessä vielä tarkkoja tietoja.

Keskuspuiston länsireunaan suunnitellut biopidätysalueet yhdessä Vuoreskeskuksessa olevien hule-9-järjestelmien kanssa riittivät pidättämään pääosin vuosittain esiintyvien sadetapahtumien aiheuttamat hulevesivirtaamat. Kerran viidessä vuodessa esiintyvillä tapahtumillakin biopidätysalueiden ylivuotovirtaamat olivat keskimäärin luokkaa 50 l/s eli biopidätysalueet puskuroivat virtaamapiikkejä erittäin hyvin. Suurimmat ylivuotovirtaamat havaittiin biopidätysalueilla 3 ja 4, joihin johdetaan mm. Vuoreskeskuksen liikekorttelien hulevedet. Liikekortteleissa (7634 ja 7633) ei ole hule-9 järjestelmiä, joten tämän kaltainen kuormitus biopidätysalueille 3 ja 4 oli odotettavissa. Suurimmat ylivuotovirtaamat kerran viidessä vuodessa esiintyvillä tapahtumilla olivat luokkaa 100 l/s (BP3) ja 250 l/s (BP4).

Mallilla tarkasteltiin myös karkeasti Vuoreskeskuksen sadevesiviemäriverkon toimintaa. Tarkastelujen perusteella todetaan, että Vuoreskeskuksessa sadevesiviemärien kapasiteetti vaikuttaa riittävältä viiden vuoden toistuvuudella. Vuoresaukion läpi kulkeva pääsadevesiviemäri kerää vedet laajalta alueelta, joten sen kuormitus on hetkittäin suurta. Vuoresaukion kohdalla voi esiintyä lyhytaikaista kaivojen tulvimista, joten tulvareitti Vuoresaukion itäpuoleisille biopidätysalueille tulee huomioida aukion suunnittelussa.

## 5.5 Virtaamat rakentamisen ja hallintatoimenpiteiden jälkeen

Hulevesimallilla havaittuja virtaamia rakentamisen jälkeisessä tilassa verrattiin aikaisemmissa suunnitelmissa esitettyihin arvoihin. Vaikka mallinnuksessa käytettiin muuttuvan intensiteetin sadetapahtumia, joilla huippuvirtaamat kasvavat tyypillisesti suuriksi, monin paikoin virtaamat todettiin silti oletettua alhaisemmiksi. Selvin syy tähän on järvien virtaamia tasoittava vaikutus, jota aikaisemmin ei voitu tällä tarkkuudella ottaa huomioon. Todettakoon myös, että CDS-sateilla saadut virtaamahuiput ovat kestoaltaan selvästi lyhyempiä kuin aikaisemmissa suunnitelmavaiheissa tasaisen intensiteetin sateilla määritetyt virtaamat. Vertailussa on huomioitu hulevesien hallintajärjestelmien vaikutus. Vertailun tulokset on koottu taulukkoon 29.

**Taulukko 29.** Rakentamisen jälkeisten virtaamien vertailu kerran viidessä vuodessa esiintyvässä mitoitustilanteessa, jossa hulevesien hallintajärjestelmät ovat käytössä (1/5a).

Tarkastelupiste	Aikaisemmat yleissuunnitelmat	Yleissuunnitelman päivitys
	120 min tasainen 0,20 mm/min	6 h CDS ka. 0,09 mm/min
<b>KOUKKUJÄRVEN LASKUOJAN VALUMA-ALUE</b>		
Koukkujärven purku	100 l/s	90 l/s
Tulo Ruskontien tulvatasanteelle	790 l/s	1640 l/s
Ruskontien alitus	790 l/s	800 l/s
Anniston hulevesialtaan purku	480 l/s	480 l/s
Anniston altaan ohi Koipijärveen	170 l/s	410 l/s
Purku Koipijärveen	650 l/s	890 l/s
<b>VIROLAISTEN LASKUOJAN VALUMA-ALUE</b>		
Virolaisen purku	300 l/s	110 l/s
Pienen virolaisen laskuojan rumpu	300 l/s	200 l/s
Pilkkakuusen hulevesialtaan purku	100 l/s	110 l/s
Keskuspuiston tekojärven purku	665 l/s *	680 l/s
Ruskontien alittava rumpu	665 l/s *	620 l/s
Purku Koipijärveen	-	1050 l/s

\*Atelier Dreiseil:n laatimassa yleissuunnitelmassa esitetty arvo.

*Taulukosta 29* nähdään, että Koukkujärven laskuojan valuma-alueella virtaamien ero aikaisempiin oli suurin Annistossa ja Ruskontien tulvatasanteen kohdalla. Erot johtuvat siitä, että nyt tehdyssä mallinnuksessa tiiviisti rakennetut alueet on mallinnettu omina alueinaan, joilta virtaamapiikit muodostuvat nopeasti. Aikaisemmin valuma-alueet olivat laajempia ja maankäytöltään yleistettyjä, jolloin tiiviisti rakennettujen alueiden vaikutus ei noussut samalla tavalla esille. Annistossa eroa tuloksiin aiheuttaa myös se, että alueelle sijoittuva uusi koulu ja asuinalue huomioitiin nyt hieman korkeammalla keskimääräisellä valumakertoimella kuin aikaisemmin. Tässä työssä koulun alueen valumakerroin oli 0,79 ja asuinalueiden keskimäärin noin 0,4, kun taas aikaisemmin koko alueelle oli asetettu valumakertoimeksi 0,3.

Virolaisten laskuojan valuma-alueella erot virtaamissa jäivät vähäisemmiksi. Järvien purkuvirtaamat todettiin alhaisemmiksi, kuin aikaisemmin oletettiin. Tärkeintä on kuitenkin huomata, että Pilkkakuusen hulevesialtaan ja Keskuspuiston hulevesijärjestelmän toiminta todettiin mallinnuksen perusteella hyvin lähelle suunniteltua toimintaa.

Suunnittelun kannalta on olennaista huomata myös, että jos aikaisemmissa suunnitelmissa esitetty virtaamat ovat olleet suurempia kuin nyt tehdyssä mallinnuksessa havaitut virtaamat, ollaan suunnittelussa varmalla puolella. Hulevesien hallintajärjestelmien mitoitukseen tämä lisää varmuutta eli esimerkiksi aikaisemmin kerran viidessä vuodessa esiintyvä virtaustilanne esiintyykin hieman harvemmin, esimerkiksi kerran kymmenessä vuodessa. Tätä voidaan käyttää hyväksi varauduttaessa ilmastomuutoksen vaikutuksiin, mitä käsitellään tarkemmin *kappaleessa 6.3*.



## 6 TULOSTEN TARKASTELU

### 6.1 Havaitut ongelmakohdat

Vertaamalla mallintamalla saatuja rakentamattoman tilanteen ja suunnitellun hallitun tilanteen virtaamia voitiin arvioida hulevesien hallinnan tavoitteiden toteutumista ja suunnittelualan ongelmakohtia. Vertailun tuloksia on koottu taulukkoon 30.

**Taulukko 30.** Virtaamien kasvu verrattuna rakentamattoman tilan virtaamiin, kun suunnitellut hulevesien hallintajärjestelmät ovat käytössä. (1/5a, 6h CDS)

Tarkastelupiste	Ennen rakentamista	Hallinnan jälkeen	Muutos
KOUKKUJÄRVEN LASKUOJAN VALUMA-ALUE			
Koukkujärven padon purku	50 l/s	90 l/s	+80 %
Koipitaipaleenkadun hulevesialtaan purku	130 l/s	250 l/s	+90 %
Tulo Ruskontien tulvatasanteelle	340 l/s	1640 l/s	+380 %
Ruskontien alitus	370 l/s	800 l/s	+115 %
Anniston hulevesialtaan purku	390 l/s	480 l/s	±25 %
Purku Koipijärveen	510 l/s	890 l/s	+75 %
VIROLAISTEN LASKUOJAN VALUMA-ALUE			
Virolaisen purku	110 l/s	110 l/s	±0 %
Pienen virolaisen laskuojan rumpu	240 l/s	200 l/s	-15 %
Pilkkakuusen hulevesialtaan purku	130 l/s	110 l/s	-15 %
Tulo Keskuspuiston tekojärveen	390 l/s	850 l/s	+120 %
Ruskontien alittava rumpu	700 l/s	620 l/s	-10 %
Purku Koipijärveen	750 l/s	1050 l/s	+40 %

Taulukosta 30 nähdään, että aiemmin suunnitelluilla hulevesien hallintatoimilla ei päästä kaikilta osin hallinnalle asetettuihin tavoitteisiin. Virolaisten laskuojan osalta tulokset ovat kuitenkin erinomaisia jos tarkastelu rajataan Ruskontien pohjoispuolelle, jossa virtaamat saadaan pidettyä rakentamista edeltävällä tasolla. Siellä onnistuneen hulevesien hallinnan takana ovat alueelle suunnitellut monipuoliset hulevesien hallintajärjestelmät sekä järvet, jotka taasaavat virtaamia huomattavasti. Kuitenkin Ruskontien eteläpuoleisilla alueilla vain hule-9 järjestelmiin rajoittuva hulevesien hallinta ei riitä rajoittamaan virtaamia riittävästi, vaan purkuvirtaama Koipijärveen kasvaa noin 40 % rakentamattomaan tilaan verrattuna.

Havaitut ongelmakohdat sijoittuvat pääasiassa Koukkujärven laskuojan valuma-alueelle. Valuma-alueen rakentaminen painottuu sen keski- ja alaosiin, jolloin sen latvalla sijaitsevaa Koukkujärveä ei voida hyödyntää hulevesien hallinnassa niin paljoa, että se ratkaisisi kaikki valuma-alueen ongelmakohdat. Tarkastelujen perusteella todetaan kuitenkin, että Länsipuistoon suunnitellut Koipitaipaleenkadun biopidätysalue ja hulevesiallas toimivat hyvin ja rajoittavat niiden yläpuolisilta alueilta muodostuvia hulevesiä tehokkaasti.

Suurimmaksi ongelmakohdaksi voidaan todeta Ruskontien tulvatasanteen ympäristö, koska sinne tulevat hetkelliset virtaamat ovat suuria. Suurin osa Ruskontien tulvatasanteelle tulevasta vesistä on peräisin Koukkujärven laskuojan pienivaluma-alueilta 1.11–1.13, joita ei pääasiassa ole vielä asema-kaavoitettu, mutta tulevat sisältämään joka tapauksessa paljon läpäisemätöntä pintaa. Näiden alueiden vedet aiheuttavat Ruskontien tulvatasanteella suurta vedenpinnan nousua ja mahdollisesti hulevesien tulvimista tulevaan Ruskontien kevyen liikenteen alikulkutunneliin. Ruskontien tulvatasanteella tapahtuva padotus auttaa kuitenkin pitämään Anniston hulevesialtaaseen tul-

vat virtaamat kohtuullisina. Tulvatasanteen purkuvirtaamaa ei voida merkittävästi kasvattaa, koska tällöin ongelmat siirtyisivät vain Annistoon, jossa viivytystilavuuden kasvattaminen on vaikeaa. Tämä johtaisi väistämättä huonoihin hallintatuloksiin Anniston hulevesialtaassa ja tulvariskin kasvuun niiden kiinteistöjen osalta, jotka sijaitsevat Koukkujärven laskuojan välittömässä läheisyydessä. Tilanne on kestämaton ja ongelmaan tuleekin hakea ratkaisua, jolla Ruskontien tulvatasanteelle tulevia virtaamia saadaan rajoitettua paremmin.

Ongelmakohtaksi voidaan todeta myös Koukkujärven laskuojan valuma-alueelle, Ruskontien eteläpuolelle kaavoitettavat uudet asuin- ja koulualueet. Näillä alueilla muodostuvia hulevesiä on periaatteessa mahdollista johtaa osittain Anniston hulevesialtaaseen, mutta tällöin ne kasvattaisivat hulevesialtaalta vaaditun viivytystilavuuden liian suureksi sen sijoituspaikkaan nähden. Koska hulevedet täytyy johtaa Anniston hulevesialtaan ohi, ne aiheuttavat Koipijärveen purkautuvien virtaamien selvää kasvua, vaikka hulevesialtaan purkuvirtaama olisikin rajoitettu alhaiselle tasolle. Lisäksi näiden alueiden hulevedet aiheuttavat suurta kuormitusta Anniston rummuille, joiden ympäristössä tulvariski on huomattava. Myös Virolaisten laskuojan valuma-alueella Ruskontien eteläpuoleiset vedet aiheuttavat Koipijärveen purkautuvan virtaaman selvää kasvua, vaikka Ruskontien pohjoispuoleiset hulevedet hallitaan erinomaisesti. Näin ollen molempien päävaluma-alueiden osalta Ruskontien eteläpuoleisille hulevesille tulee etsiä omaa hajautettua hallintaratkaisua, jolla hulevesivirtaamia saadaan rajoitettua ja hulevesien laatua parannettua.

## 6.2 Suositukset jatkotoimenpiteiksi

Hulevesimallin avulla tehtiin tarkasteluja, joissa haettiin edellä kuvattujen ongelmakohtien parantamiseen tähtääviä ratkaisuja. Tarkastelujen perusteella suositellaan jatkotoimenpiteitä, joita käsitellään seuraavaksi. *Liitteenä 1* olevassa yleissuunnitelmakartassa esitetyissä tuloksissa on huomioitu jatkotoimenpiteiden vaikutukset.

### 6.2.1 Koukkujärven laskuojan valuma-alueella

#### *Koukkujärven säätöpato*

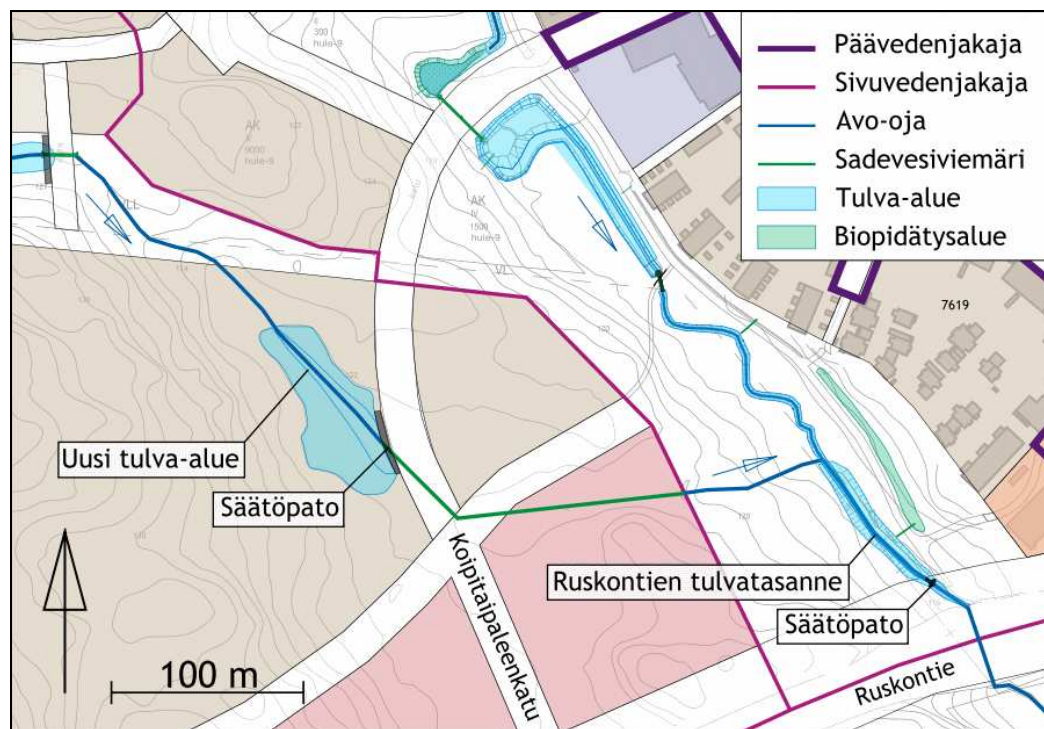
Koukkujärven säätöpato suositellaan sijoitettavaksi Koukkujärven ja Peräkorven asuinalueet yhdistävän kadun rummun yhteyteen, jolloin padon rajaamalle tulva-alueelle pystytään johtamaan Koukkujärven lähiympäristön lisäksi myös mahdollisimman suuret osat Koukkujärven ja Peräkorven asemakaava-alueiden hulevesistä.

#### *Uudet hallintatoimenpiteet Ruskontien pohjoispuolella*

Ratkaisuna Ruskontien tulvatasanteella havaittuihin ongelmiin esitetään, että pienvaluma-alueilta 1.11–1.13 muodostuvia hulevesiä hallitaan jo ennen niiden purkua Länsipuistoon. Pienvaluma-alueen 1.11 (7,7 ha) hulevesiä voitaisiin johtaa esimerkiksi Koipitaipaleenkadun länsipuolelle muodostettavalle uudelle tulva-alueelle, joka tasoittaisi virtaamahuippuja ennen Ruskontien tulvatasannetta. Koukkujärven laskuoja voidaan johtaa joko tulva-alueen läpi tai vaihtoehtoisesti laskuoja voidaan viedä putkessa tulva-alueen ohi. Havainnekuva uudesta tulva-alueesta on esitetty *kuvassa 17*.

Koipitaipaleenkadun länsipuolelle sijoittuva uusi tulva-alue mallinnettiin painanteena, jonka pohjan keskimääräinen taso on +121,00 m. Painanteen pohjalle asetettiin kulkemaan 0,15 metriä syvä oja, jonka ylläpuolelle muodostuu varsinainen tulvatilavuus. Painanteen yläreunan tasoksi asetettiin +122,00 m, jossa tulva-alueen pinta-ala on noin 2900 m<sup>2</sup> ja tilavuus noin 1000 m<sup>3</sup>. Ra-

kentamattomassa tilassa pienvalluma-alueelta 1.11 muodostuva virtaama (1/5a, 6h, CDS) on noin 120 l/s. Kun otetaan huomioon muilta alueilta ja Koukkujärven laskuojasta rakentamattomassa tilassa tulva-alueen kohdalle tulevat virtaamat, saadaan yhteisvirtaamaksi noin 240 l/s. Asettamalla tulva-alueen säätöpadoksi esimerkiksi 0,2 metrin levyinen suorakaidepato päästiin 270 l/s rajoitettuun virtaamaan. Tällöin viivytystilavuudeksi muodostui 890 m<sup>3</sup>, mikä on hyvin toteutettavissa esitettyyn sijoituspaikkaan. Mallinnustuloksia uudesta tulva-alueesta on koottu *taulukko 31*.



**Kuva 17.** Koipitaipaleenkadun länsipuolelle sijoittuva uusi tulva-alue. Kuvassa on esitetty myös Ruskontien tulvatasanne.

**Taulukko 31.** Mallinnuksen tuloksia uudella Koipitaipaleenkadun länsipuoleisella tulva-alueella.

	1/1 a CDS, 6 h ka. 0,06 mm/min	1/5 a CDS, 6h ka. 0,09 mm/min
Suurin tulovirtaama	620 l/s	1690 l/s
Viivytystilavuus	570 m <sup>3</sup>	890 m <sup>3</sup>
Ylin vedenpinnan taso	+121,57 m	+121,90 m
Suurin purkuvirtaama	140 l/s	270 l/s
Tulvatasanteen tyhjeneminen	4 h	7 h

Edellä kuvatun uuden tulva-alueen lisäksi parannustoimenpiteenä tarkasteltiin Ruskontien tulvatasanteen (*kuvaa 17*) tehokkaampaa hyötykäyttöä myös rakentamisen jälkeisessä tilanteessa. Tulvatasanteen muoto ja tilavuus pidettiin Länsipuiston suunnitelmien mukaisena, mutta suotopatoon lisättiin 300 mm tyhjennysputki. Ylivuoto pidettiin tasossa +115,50 m. Tyhjennysputki mahdollistaa paremmin Koukkujärven laskuojan perusvirtaaman ja nopeuttaa tulvatasanteen tyhjenemistä rankkasadetilanteen jälkeen. Mallinnuksessa oletettiin parannustoimenpiteiden jälkeen, että ennen mitoittavaa rankkasadetilannetta altaan keskimääräinen vesisyvyys on 0,15 m ja veden pinnan taso +115,10 m. Jos tulvatasanne saadaan näin tyhjäksi ennen mitoitusadetta, voidaan sinne padottaa noin 50 % enemmän hulevesiä. Samalla myös vedenpinnan tasot jäävät tulva-alueella alhaisemmiksi. Mallinnustuloksia parannus-

toimenpiteiden jälkeen on esitetty *taulukkoissa 32 ja 33*. Taululukoissa tärkeimpien arvojen perään on merkitty sulkeisiin parannustoimenpiteiden vaikutus.

**Taulukko 32.** Mallinnuksen tuloksia Ruskontien tulvatasanteella parannustoimenpiteiden jälkeen.

	1/1 a CDS, 6 h ka. 0,06 mm/min	1/5 a CDS, 6h ka. 0,09 mm/min
Suurin tulovirtaama	760 l/s	1750 l/s
Viivytystilavuus	490 m <sup>3</sup> (-30 %)	830 m <sup>3</sup> (-23 %)
Ylin vedenpinnan taso	+115,65 m	+115,92 m
Virtaama tyhjennysputkessa	105 l/s	110 l/s
Suurin virtaama ylivuodosta	115 l/s	460 l/s
Suurin purkuvirtaama yhteensä	220 l/s (-67 %)	570 l/s (-27 %)
Tyhjeneminen ylivuodon tasoon	6 h	9 h

**Taulukko 33.** Parannetut järjestelmät 1/100a tulvatilanteissa.

	1/100 a CDS, 60 min ka. 0,60 mm/min	1/100 a tasainen, 24 h ka. 0,06 mm/min
KOIPITAIPALEENKADUN LÄNSIPUOLINEN UUSI TULVA-ALUE		
Viivytystilavuus	1090 m <sup>3</sup>	625 m <sup>3</sup>
Suurin purkuvirtaama	370 l/s	160 l/s
RUSKONTIEN TULVATASANNE		
Viivytystilavuus	1000 m <sup>3</sup> (-22 %)	655 m <sup>3</sup>
Suurin purkuvirtaama	830 l/s (-10 %)	335 l/s

*Taulukoista 32 ja 33* nähdään, että parannustoimenpiteiden ansiosta viivytystilavuudet ja purkuvirtaamat Ruskontien tulvatasanteella laskevat merkittävästi. Mitoitustilanteessa (1/5a) lasku on luokkaa 25 %, millä on jo suuri vaikutus alapuolisten Anniston järjestelmien toimintaan. Usein toistuvilla sadetahtumilla parannustoimenpiteiden vaikutus korostuu entisestään.

#### *Hulevesien hallinta Ruskontien eteläpuolella*

Edellä kuvattujen parannustoimenpiteiden vaikutuksesta hulevesikuormitus jakautuu hieman tasaisemmin Ruskontien tulvatasanteen ja sen alapuolisen Anniston hulevesialtaan kesken. Uuden Koipitaipaleenkadun länsipuoleisen tulva-alueen ansiosta viivytystilavuudet pienenevät Ruskontien tulvatasanteen lisäksi myös Anniston hulevesialtaassa. Näin ollen Anniston altaalle aikaisemmissa suunnitelmissa esitetty noin 1800 m<sup>3</sup> viivytystilavuus on likimain riittävä viiden vuoden toistuvuudella. Tulvatasanne tyhjenee myös nopeasti, noin 4,5 tunnissa, ja purkuvirtaama jää tasoon 420 l/s, mikä on rakentamista edeltävän virtaaman (390 l/s) luokkaa.

Anniston hulevesiallas toimii mallinnuksen perusteella hyvin myös 1/100a tulvatilanteissa, mutta viivytystilavuus kasvaa noin 2300 m<sup>3</sup> ja purkuvirtaama tasoon 650 l/s. Jos altaan viivytystilavuutta kasvatettaisiin hieman, luokkaan 2000–2300 m<sup>3</sup>, varmuus erikoistilanteita vastaan paranisi. Anniston altaan käyttäytymistä parannustoimenpiteiden jälkeen on kuvattu *taulukkoissa 34 ja 35*. Taululukoissa tärkeimpien arvojen perään on merkitty sulkeisiin parannustoimenpiteiden vaikutus. Tulvatasanne alkaa tasosta +114,50 m, padon ylivuoto on tasossa +114,80 m ja patorakenteen maksimitaso on +115,20 m.



**Taulukko 34.** Anniston hulevesialtaan käyttäytyminen Ruskontien pohjoispuoleisten parannustoimenpiteiden jälkeen.

	1/1 a CDS, 6 h ka. 0,06 mm/min	1/5 a CDS, 6h ka. 0,09 mm/min
Viivytystilavuus	250 m <sup>3</sup> (-57 %)	1880 m <sup>3</sup> (-6 %)
Ylin vedenpinnan taso	+114,50 m	+114,87 m
Suurin purkuvirtaama	220 l/s (-15 %)	420 l/s (-14 %)
Tulvatasanteen tyhjeneminen	-	4,5 h

**Taulukko 35.** Anniston hulevesiallas 1/100a tulvatilanteissa.

	1/100 a CDS, 60 min ka. 0,60 mm/min	1/100 a tasainen, 24 h ka. 0,06 mm/min
Viivytystilavuus	2160 m <sup>3</sup> (-5 %)	1740 m <sup>3</sup>
Suurin purkuvirtaama	580 l/s (-10 %)	360 l/s
Ylin vedenpinnan taso	+114,92 m	+114,85 m

Anniston hulevesiallas käsittelee lähinnä Ruskontien pohjoispuolelta tulevia hulevesiä, joten Ruskontien eteläpuoleisten hulevesien hallintaan tulee kiinnittää erityistä huomiota. Vanhan Hervannantien ja Ruskontien väliin jäävä pienvaluma-alue 3.1 on yleiskaavassa varattu koulun rakentamiseen ja pienvaluma-alue 3.2 pääosin pientalorakentamiseen. Koska pienvaluma-alueiden 3.1 ja 3.2 hulevesiä ei voida tilanpuutteen vuoksi johtaa kokonaisuudessaan Anniston hulevesialtaan kautta, tulee niitä viivyttää tuntuvasti korttelikohtaisilla järjestelmillä tai omilla alueellisilla järjestelmillään. Muussa tapauksessa näiltä alueilta muodostuvat hulevesivirtaamat voivat nousta haitallisen suuriksi. Jos hulevesivirtaamia halutaan rajoittaa rakentamista edeltävälle tasolle koko Koukkujärven laskuojan matkalla, myös nämä, laskuojan eteläosien alueet tulee hallita samoin periaattein kuin muualla Vuoreksessa.

Pienvaluma-alueilta 3.1 ja 3.2 (12,8 ha) muodostuva hulevesivirtaama rakentamista edeltävässä tilanteessa on noin 100 l/s. Jos pyritäisiin rakentamisen jälkeen purkuvirtaaman nousuun esimerkiksi tasoon 200 l/s, tarvittaisiin näillä alueilla yhteensä noin 800 m<sup>3</sup> viivytystilavuutta. Vastaavasti jos pienvaluma-alueilta 3.4 ja 3.5 (7,2 ha) virtaama rajoitettaisiin tasoon 100 l/s, niille tarvittaisiin viivytystilavuutta yhteensä noin 400 m<sup>3</sup>. Tämä tarkoittaa noin 50m<sup>3</sup> viivytystilavuutta jokaista hehtaaria kohti. Tämän lisäksi alueella tulee toteuttaa hule-9-kaavamääräyksen mukaista hulevesien viivytystä.

#### *Anniston rummut*

Edellä kuvattujen parannustoimenpiteiden johdosta myös *kappaleessa 5.4.3* kuvattuihin Anniston rumpuihin (A, B ja C) kohdistuva kuormitus alenee. Virtaamien aleneminen on luokkaa 30 % ja tämä tarkoittaa ylimmän vedenpinnan tason jäämistä vuositasolla 10–15 cm alemmaksi ja viiden vuoden toistuvuudella 20–25 cm alemmaksi kuin ilman parannustoimenpiteitä. Mallinnuksen perusteella nykyiset rummut olisivat riittävät johtamaan vuosittain esiintyvän huippuvirtaaman (390 l/s) ilman haitallista tulvimista. Viiden vuoden toistuvuudella pientä tulvimista voi esiintyä rumpujen B ja C välisellä osuudella. Tampereen kaupunki on suunnitelmissaan esittänyt Anniston rumpujen parannustoimenpiteenä mm. toisien B 800 rumpujen asettamista nykyisten rumpujen rinnalle. Toisien rumpujen lisäämisellä ei ole käytännössä juurikaan vaikutusta Koipijärven purkautuviin huippuvirtaamiin, koska hulevedet on hallittu tehokkaasti muilla menetelmillä. Vedenpinnan korkeuksia ennen rumpuja on koottu *taulukkoon 36*.

**Taulukko 36.** Vedenpinnan tasoja [m] Anniston rummuilla parannustoimenpiteiden jälkeen sekä yhdellä että kahdella B 800 rummulla.

A ~1,6 % C ~1,0 % C ~0 %	1/1 a Q = 390 l/s		1/5 a Q = 670 l/s		1/10a tai 1/100a Q = 900 l/s
	1 x B800	2 x B800	1 x B800	2 x B800	2 x B800
ennen A	113,74	113,56	113,96	113,69	113,79
ennen B	113,40	113,31	113,53	113,41	113,48
ennen C	113,15	113,00	113,35	113,13	113,23

*Taulukosta 36* nähdään, että kahdella B 800 rummulla saataisiin laskettua veden pinnan tasot kohtuullisen alas Vanhan Hervannantien ja Annistonkaaren välisellä osuudella. Veden pinnan tasot jäävät kohtuullisen alhaisiksi jopa kymmenen vuoden toistuvuudella. Tarkasteluissa havaittiin, että virtaama ja näin myös vedenpinnan tasot olivat samat 1/10a 6h sekä 1/100a 1h sateilla. Todetaan siis tulvimisen olevan kohtuudella hallinnassa myös 1/100a tulvatilanteissa. Rinnakkaisten rumpujen asennuksen lisäksi laskuojan uomaa tulisi parantaa rumpujen B ja C välisellä osuudella ainakin varmistamalla, että alimmissa kohdissa ojan pengeri olisi riittävän korkea, esimerkiksi vähintään tasossa +113,30 m, kun nykyään alimmat kohdat jäävät noin tasoon +113,00 m. Rummun C kaltevuutta voitaisiin hieman lisätä ilman, että se vaikuttaisi juurikaan lopulliseen, Koipijärveen purkautuvaan virtaamaan.

#### 6.2.2 Virolaisten laskuojan valuma-alueella

Virolaisten laskuojan valuma-alueelle sijoittuvien hulevesien hallintajärjestelmien havaittiin toimivan mallinnuksen perusteella hyvin. Kuitenkin Virolaisen asemakaava-alueen hulevesille tulisi toteuttaa oma biopidätysalue (BP9), koska Virolaisen katusuunnitelmassa esitetty sadevesiviemäriverkko purkaisi korkeustasoista johtuen vedet suoraan Keskuspuistoon, Pilkkakuusen altaan laskuojaan. Biopidätysalue voitaisiin sijoittaa keskuspuiston yhteyteen Pilkkakuusen laskuojan itäpuolelle ja toteuttaa samaan tapaan kuin Vuoreskeskukseen biopidätysalueet. Uuden biopidätysalueen kautta saataisiin Virolaisen asemakaava-alueelta ja Vuores Puistokadulta muodostuvia vesiä käsiteltyä laadullisesti samaan tapaan kuin Vuoreskeskuksessa. Biopidätysalue rajoittaisi huomattavasti myös Keskuspuistoon purkautuvia virtaamahuippuja.

Mäyrämäenkadun eteläpuoleisilta alueilta muodostuvat hulevedet tulisi käsitellä esimerkiksi biopidätysalueilla ennen vesien johtamista Virolaisten laskuojaan. Tämä parantaisi hulevesien laatua sekä tasaisi alueilta muodostuvia virtaamahuippuja. Pienimuotoisia hulevesien hallintatoimenpiteitä tulisi toteuttaa myös Ruskontien eteläpuoleisilla alueilla (pienvaluma-alueet 9.1–9.3, 15,5 ha) samaan tapaan kuin edellä esitettiin Koukkujärven laskuojan valuma-alueella tehtävän. Kun noudatetaan samaa periaatetta 50 m<sup>3</sup> viivytystilavuudesta hehtaaria kohti, saadaan Koipijärveen purkautuvat virtaamat laskemaan likimain rakentamista edeltävälle tasolle. Vanhan Hervannantien pohjoispuolella tämä tarkoittaisi noin 470 m<sup>3</sup> ja sen eteläpuolella noin 270 m<sup>3</sup> viivytystilavuutta. Tällöin purkuvirtaama Koipijärveen viiden vuoden toistuvuudella laskisi noin 25 %, tasoon 780 l/s, mikä on lähellä rakentamista edeltävää virtaamaa.

### 6.3 Ilmastomuutoksen vaikutukset

RATU-hankkeessa<sup>9</sup> ilmastomuutoksen on ennustettu lisäävän sulan kauden aikana esiintyviä rankkasateita ja kasvattavan niiden intensiteettiä ajanjaksoon 2071–2100 mennessä keskimäärin noin 20 %. Lisäksi SYKE:n ohjeiden, *EU:n tulvadirektiivin toimeenpano ja hulevesitulvariskin arviointi kunnissa*<sup>19</sup>, mukaiset kerran sadassa vuodessa esiintyvien 1 h ja 24 h rankkasateiden on arvioitu kasvavan seuraavien 50 vuoden aikana noin 10–15 %. RATU-hankkeen yhteydessä on todettu, että ilmastomuutoksen vaikutus sateisiin voidaan huomioida riittävällä tarkkuudella tekemällä tarkastelut astetta suuremmalla toistuvuudella. Arvioitaessa ilmastomuutoksen vaikutuksia Vuoreksen hulevesien hallintajärjestelmiin sateiden toistuvuudet valittiin alla olevan luettelon mukaisesti. Ilmastomuutoksen vaikutusten tarkasteluissa oletettiin, että edellä esitetyt jatkotoimenpiteet on toteutettu.

- 1/1a sade → 1/2a sade
- 1/5a sade → 1/10a sade (mitoitustilanne)
- 1/100a sade → 1/100a + 15 %

Ilmastomuutoksen vaikutuksesta Koukkujärven laskuojan valuma-alueella mitoitustilanteen virtaamat kasvavat noin 20–40 % ja viivytystilavuuden hulevesien hallintajärjestelmissä noin 5–30 %. Kasvu on luonnollisesti suurinta valuma-alueen alaosissa. Hulevesien hallintajärjestelmien keskeisiä tietoja on koottu *taulukkoon 37*.

**Taulukko 37.** Ilmastomuutoksen vaikutuksia Koukkujärven laskuojan valuma-alueen hulevesien hallintajärjestelmissä (1/10a, 6h CDS). Sulkeissa muutos verrattuna tilanteeseen ilman ilmastomuutosta (1/5a, 6h CDS).

Tarkastelupiste	Padottuva vesimäärä	Purkuvirtaama
Koukkujärven viivytysratkaisu	5400 m <sup>3</sup> (+30 %)	90 l/s (±0 %)
Uusi tulva-alue (1.11)	1000 m <sup>3</sup> (+12 %)	330 l/s (+22 %)
Koipitaipaleenkadun biopidätysalue	270 m <sup>3</sup> (+23 %)	790 l/s (+23 %)
Koipitaipaleenkadun hulevesiallas	1320 m <sup>3</sup> (+4 %)	310 l/s (+24 %)
Ruskontien tulvatasanne	920 m <sup>3</sup> (+11 %)	740 l/s (+30 %)
Anniston hulevesiallas	2180 m <sup>3</sup> (+16 %)	590 l/s (+40 %)

*Taulukossa 37* esitettyjen tulosten perusteella todetaan, että järjestelmien viivytyskapasiteetit riittävät pääosin myös ilmastomuutoksen myötä 20 % rankentuneelle mitoitustilanteelle. Vain Anniston hulevesialtaan viivytystilavuus ja purkuvirtaaman kasvusta aiheutuu selviä ongelmia kuten, että purkuvirtaama Koipijärven kasvaa noin 35 % tasoon 890 l/s. Toisaalta Anniston alueita ei ole vielä asemakaavoitettu eikä hulevesiallasta tarkemmin suunniteltu, joten Annistossa tapahtuvaan hulevesien hallintaan voidaan vaikuttaa vielä paljon. Kokonaisuudessaan hallintatulosta ilmastomuutoksen vaikutusten jälkeenkin voidaan pitää hyvänä.

Virolaisten laskuojan valuma-alueella ilmastomuutoksen vaikutukset ovat samantyyppisiä kuin Koukkujärven laskuojan valuma-alueella, mutta kasvu jää hieman pienemmäksi. Mitoitustilanteessa virtaamat kasvavat noin 5–20 % ja viivytystilavuudet keskimäärin noin 10–30 %. Pienempi kasvu aiheutuu järvien suuremmasta vaikutuksesta ja laajemmasta hulevesien hallintajärjestelmästä Ruskontien pohjoispuolella. Hulevesien hallintajärjestelmien keskeisiä tietoja on koottu *taulukkoon 38*.

**Taulukko 38.** Ilmastonmuutoksen vaikutuksia Virolaisten laskuojan valuma-alueen hulevesien hallintajärjestelmissä (1/10a, 6h CDS). Sulkeissa muutos verrattuna tilanteeseen ilman ilmastonmuutosta (1/5a, 6h CDS).

Tarkastelupiste	Padottuva vesimäärä	Purkuvirtaama
Virolaisen viivytysratkaisu	6800 m <sup>3</sup> (+28 %)	130 l/s (+18 %)
Pieni Virolaisen viivytysratkaisu	2100 m <sup>3</sup> (+24 %)	220 l/s (+10 %)
Pilkkakuusen hulevesiallas	3700 m <sup>3</sup> (+21 %)	120 l/s (+9 %)
Keskuspuiston tekojärvi (A1)	700 m <sup>3</sup> (+30 %)	710 l/s (+4 %)

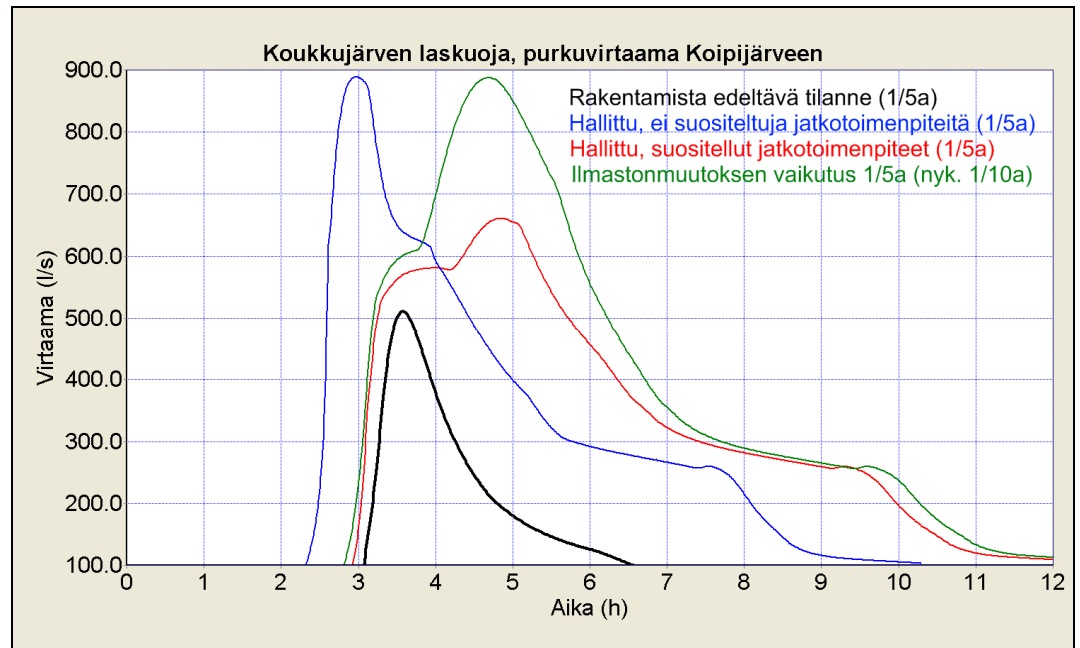
*Taulukossa 38* esitettyjen mitoitustilanteen tarkastelujen perusteella todetaan, että ilmastonmuutos ei aiheuta ongelmia Vuoreksen keskuspuiston hulevesijärjestelmän keskeisissä osissa. Keskuspuiston yläpuolisten hallintajärjestelmät ja järvet rajoittavat virtaamien kasvua Keskuspuistossa. Virolaisen ja Pienen Virolaisen viivytysratkaisuissa ongelmia ei esiinny, mutta Pilkkakuusen hulevesialtaan viivytystilavuus kasvaa sen viivytyskapasiteetin ylärajoille, noin tasoon 3700 m<sup>3</sup>. Tulovirtaama Keskuspuiston tekojärveen (A1) kasvaisi ilmastonmuutoksen vaikutuksesta mitoitustilanteessa noin 15 % tasoon 970 l/s. Vuoreskeskuksen alueelta muodostuvat virtaamat kasvavat samassa suhteessa, mutta puiston reunaan suunnitellut biopidätysalueet alentavat Keskuspuiston altaisiin (A2–A6) tulevia virtaamahuippuja siinä määrin, että niiden viivytystilavuuksien kasvu jää keskimäärin luokkaan 10–15 %. Tämän ei pitäisi aiheuttaa mainittavia ongelmia alaiden tulva-alueilla. Purkuvirtaama Keskuspuiston järjestelmästä Mäyränmäenkadun rumpuun kasvaisi myös noin 15 % tasoon 590 l/s. Purkuvirtaama Koipijärveen kasvaisi noin 13 % tasoon 880 l/s. Kokonaisuudessaan Virolaisten laskuojan valuma-alueella ilmastonmuutoksen vaikutukset jäävät kokonaisuuden kannalta vähäisemmiksi.

#### 6.4 Hallinnalla saavutettavat tavoitteet

Koukkujärven laskuojan valuma-alueelle asetetut tavoitteet täyttyvät esitettyjen parannustoimenpiteidenjälkeen huomattavasti paremmin, kuin ilman näitä toimenpiteitä. Mitoitustilanteessa hallinnan tavoitteiden täyttymistä parannustoimenpiteiden jälkeen on havainnollistettu *taulukossa 39*. Tulosten havainnollistamiseksi *Kuvassa 18* on esitetty eri tilanteissa mallinnettuja purkautumiskäyriä purkupisteessä Koipijärveen. Purkautumiskäyrät on esitetty rakentamista edeltävässä tilanteessa; tilanteessa, jossa tässä raportissa esitettyjä jatkotoimenpiteitä ei ole toteutettu; tilanteessa, jossa jatkotoimenpiteet on toteutettu; sekä ilmastonmuutoksen vaikutuksesta rankentuneessa mitoitustilanteessa. Myös ilmastonmuutoksen vaikutusten tarkastelussa jatkotoimenpiteet oletettiin toteutetuiksi. Purkautumiskäyrät on esitetty laskuojan perusvirtaaman (n. 100 l/s) ylittävältä osalta.

**Taulukko 39.** Koukkujärven laskuojan valuma-alueella tapahtuva virtaamien kasvu verrattuna rakentamattoman tilan virtaamiin, kun hulevesien hallintajärjestelmiin on tehty esitetyt jatkotoimenpiteet. (1/5a, 6h CDS)

Tarkastelupiste	Ennen rakentamista	Hallinnan jälkeen	Muutos
Koukkujärven padon purku	50 l/s	90 l/s	+80 %
Koipitaipaleenkadun hulevesialtaan purku	130 l/s	250 l/s	+90 %
Uuden tulva-alueen (1.11) purku	240 l/s	270 l/s	+13 %
Ruskontien tulvatasanteen purku	340 l/s	570 l/s	+70 %
Ruskontien alitus	370 l/s	600 l/s	+60 %
Anniston hulevesialtaan purku	390 l/s	420 l/s	+7 %
Purku Koipijärveen	510 l/s	660 l/s	+30 %



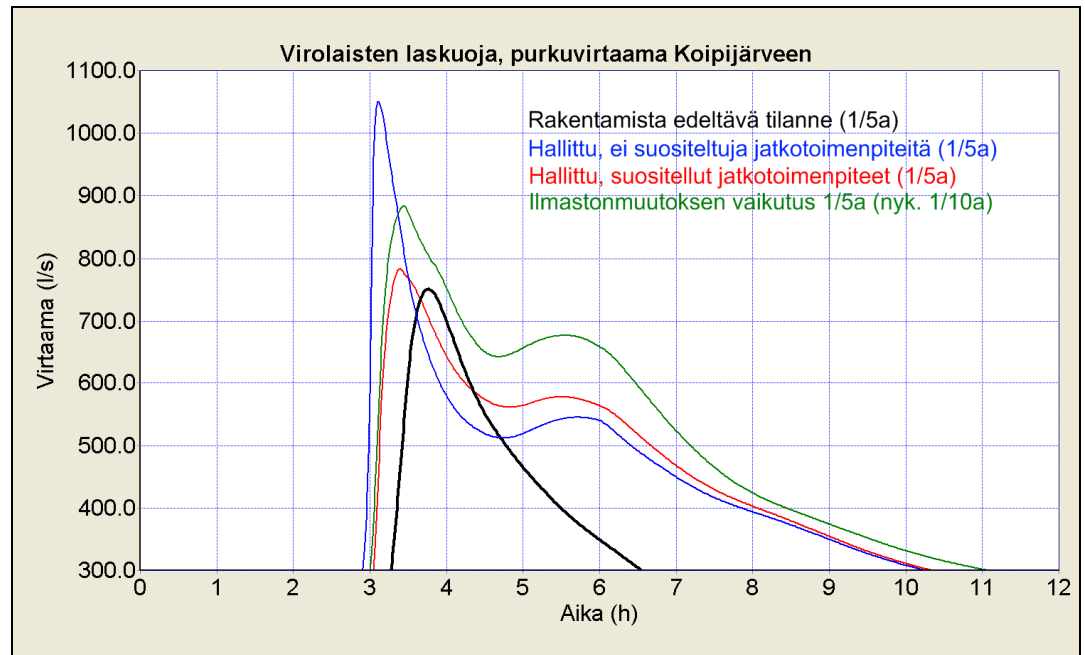
**Kuva 18.** Purkautumiskäyrät Koukkujärven laskuojan purkupisteessä Koipijärveen viiden vuoden toistuvuudella (1/5a, 6h CDS). Alle 100 l/s laskuojan perusvirtaamaa ei ole esitetty kuvassa.

*Taulukosta 39* nähdään, että suunnitellut hulevesien hallintatoimenpiteet esitetyin parannustoimenpitein rajoittavat valuma-alueen virtaamia merkittävästi. Virtaamien kasvu rakentamattomaan tilaan verrattuna jää kaikissa tarkastelupisteissä kohtuulliseksi ja etenkin valuma-alueen alaosissa Anniston hulevesialtaan tasolla hallintatulos on erinomainen. Näin ollen purkuvirtaama Koipijärveen saataisiin putoamaan mitoitustilanteessa (1/5a) noin tasoon 660 l/s, jolloin ero rakentamattomaan tilaan jää varsin vähäiseksi. Tämä olisi erinomainen hallintatulos koko valuma-alueen tasolla.

Virolaisten laskuojan valuma-alueella päästään erinomaisiin hallintatuloksiin koko valuma-alueen tasolla. Esitettyjen jatkotoimenpiteiden jälkeen myös Ruskontien eteläpuoleiset hulevesivirtaamat saatiin hallittua, jolloin purkuvirtaama Koipijärveen saadaan pidettyä rakentamista edeltävällä tasolla viiden vuoden toistuvuudella. Mitoitustilanteessa, parannustoimenpiteiden jälkeen hallinnan tavoitteiden täyttymistä on havainnollistettu *taulukossa 40* ja *kuvassa 19*, jossa on esitetty purkautumiskäyrät Koipijärveen samaan tapaan kuin edellä Koukkujärven laskuojan osalta. Purkautumiskäyrät on esitetty laskuojan perusvirtaaman (n. 300 l/s) ylittävältä osalta.

**Taulukko 40.** Virolaisten laskuojan valuma-alueella tapahtuva virtaamien kasvu verrattuna rakentamattoman tilan virtaamiin, kun hulevesien hallintajärjestelmiin on tehty esitetyt parannustoimenpiteet. (1/5a, 6h CDS)

Tarkastelupiste	Ennen rakentamista	Hallinnan jälkeen	Muutos
Virolaisen purku	110 l/s	110 l/s	±0 %
Pienen virolaisen laskuojan rumpu	240 l/s	200 l/s	-15 %
Pilkkakuusen hulevesialtaan purku	130 l/s	110 l/s	-15 %
Tulo Keskuspuiston tekojärveen	390 l/s	850 l/s	+120 %
Ruskontien alittava rumpu	700 l/s	620 l/s	-10 %
Purku Koipijärveen	750 l/s	780 l/s	+4 %



**Kuva 19.** Purkautumiskäyrä Virolaisten laskuojan purkupisteessä Koipijärveen viiden vuoden toistuvuudella (1/5a, 6h CDS). Alle 300 l/s perusvirtaamaa ei ole esitetty kuvassa.

Kuvissa 18 ja 19 esitetyistä purkautumiskäyristä nähdään, että esitettyjen jatkotoimenpiteiden vaikutuksesta molemmilla päävaluma-alueilla päästään huippuvirtaamien rajoittamisessa selvästi lähemmäksi rakentamatonta tilannetta kuin ilman jatkotoimenpiteitä. Vaikka huippuvirtaamat rajoittuvatkin hyvin, niin purkautumiskäyristä nähdään hulevesimäärien selvä kasvu verrattuna rakentamattomaan tilanteeseen. Hulevesimäärä on nähtävissä kuvaajassa purkautumiskäyrän alle jäävänä pinta-alana. Hulevesimäärien kasvu on luonnollista, koska hulevesien virtaamia rajoittavilla toimenpiteillä ei varsinaisesti puututa hulevesien muodostumiseen, vaan virtaamia pyritään vain viivyttämään. Lisäksi Vuoreksessa monin paikoin huonosti vettä läpäisevä maaperä ei suosi imeyttäviä hallintamenetelmiä, joilla hulevesimääriä saataisiin suuremmassa määrin alennettua. Näin ollen voidaan karkeasti sanoa, että kasvaneet selvitysalueella muodostuvat hulevesimäärät eivät katoa mihinkään, vaan hallintatoimenpiteillä ne saadaan vain jaettua pitemmälle ajanjaksolle. Tämä vähentää kuitenkin yksittäisten tarkastelupisteiden kuormitusta merkittävästi.

Hallintatuloksia molemmilla päävaluma-alueilla voidaan pitää hyvinä. Etenkin Virolaisten laskuojan valuma-alueella tuloksia voidaan pitää erinomaisina. Mallinnuksen perusteella on hyvin suositeltavaa toteuttaa esitetyt jatkotoimenpiteet. On myös huomattava, että Anniston alueen kaavoitus on vielä pahasti kesken, joten hulevesisuunnitelmia tulee tarkentaa kaavoituksen edetessä. Kuitenkin todetaan, että esitetyn kaltaisilla toimenpiteillä tilanne olisi hyvin hallittavissa.

## 7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Vuoreksen osayleiskaava-alueen maankäyttö tulee muuttumaan rakentamisesta johtuen ratkaisevasti. Nykyinen pääosin rakentamaton metsä- ja pelto-maa muutetaan tuhansien asukkaiden ja työpaikkojen uudeksi kaupungin-osaksi. Läpäisemättömien pintojen määrä tulee olemaan selvitysalueella koh-tuullisen suuri, joten muodostuvat hulevesimäärät tulevat kasvamaan merkit-tävästi – valuma-alueetasolla noin kolminkertaiseksi ja paikoin tätäkin enem-män. Hulevesien hallitsemiseksi selvitysalueelle on suunniteltu erityyppisiä hallintamenetelmiä sisältävä, monipuolinen hulevesien hallintajärjestelmä, jol-la virtaamat valuma-alueiden purkureiteillä on tarkoitus rajoittaa mahdolli-simman lähelle rakentamista edeltävää tasoa viiden vuoden toistuvuudella.

Työn aluksi selvitysalueelle laadittiin ajantasaisen kaavoitus- ja suunnitteluti-lanteen mukainen, merkittävästi aikaisempaa yksityiskohtaisempi valuma-aluekartta. Tämän perusteella laadittiin hydrologisen ja hydraulisen mallin si-sältävä monipuolinen hulevesimalli. Suhteellisen tarkasta lähtöaineistosta ja pienvaluma-aluejaosta huolimatta mallissa on jouduttu tekemään useita ole-tuksia niin pintavalunnan muodostumisessa, virtausreiteissä kuin hallintajär-jestelmien yksityiskohdissakin. Oletukset on pyritty tekemään kuitenkin pe-rustellusti ja johdonmukaisesti. Kun otetaan huomioon selvitysalueen ja mal-linnettavien hulevesijärjestelmien laajuus sekä yleissuunnitelmason vaati-mukset, voidaan tässä suunnitelmassa käytettyä tarkkuustasoa pitää hyvänä.

Mallintamalla saatiin parannettua tulosten tarkkuutta ja luotettavuutta verrat-tuna aikaisempiin hulevesiselvityksiin, mutta niissä esitettyjen tulosten todet-tiin pitävän pääosin hyvin paikkansa. Osin tulokset kuitenkin hieman muuttui-ivat, mihin syynä oli ennen kaikkea mallin kyky ottaa järvien virtaamia rajoit-tavat ominaisuudet huomioon. Lisäksi tulosten laatua paransivat aikaisempaa merkittävästi yksityiskohtaisempi pienvaluma-aluejako, virtausreittien mallin-nus, painannesäilynnän huomioiminen omana muuttujanaan sekä mallin kyky laskea tarkemmin pienvaluma-alueilta muodostuvat virtaamien summakäyrät. Mallilla voitiin tarkastella myös hulevesien hallintajärjestelmien toimintaa huomattavasti aikaisempaa monipuolisemmin hyvin vaihtelevissa tilanteissa.

Monipuolisista tarkasteluista huolimatta mallinnuksenkaan perusteella ei voida todeta järjestelmän toimivan täydellä varmuudella kaikissa tietyllä toistuvuu-della esiintyvissä rankkasadetilanteissa. Lähtötilanteet ja rankkasateet ovat yksilöllisiä, joten mallinnuksen tulokset ovat suuntaa antavia. Mallin avulla pystyttiin kuitenkin tarkastelemaan useita toisistaan poikkeavia sadetapahtu-mia ja käyttämään muuttuvan intensiteetin sateita, jolloin pahimmat ongel-makohdat saatiin esille ja suunnittelun varmuutta kasvatettua. Mallilla saatiin hyvä kokonaisnäkemys tilanteista, joita rankkasateet aiheuttavat Vuoreksen hulevesijärjestelmissä.

Virolaisten laskuojan valuma-alueelle sijoittuvien hulevesien hallintajärjestel-mien todettiin toimivan erinomaisesti. Kokonaisuus pysyy hyvin hallinnassa ja asetettuihin tavoitteisiin päästään hyvin Ruskontien pohjoispuoleisen valuma-alueen osalta jo nykyisillä suunnitelmissa. Jatkotoimenpiteenä Ruskontien ete-läpuoleisissa osissa suositellaan toteutettavaksi pieniä kiinteistökohtaisia hu-levesien hallintatoimenpiteitä, joilla virtaamat saadaan pidettyä viiden vuoden toistuvuudella rakentamista edeltävällä tasolla koko valuma-alueella.

Koukkujärven laskuojan valuma-alueella Koukkujärven ja Länsipuiston hule-vesien hallintajärjestelmien todettiin mallinnuksella toimivan suunnitellulla ta-valla ja rajoittavan hulevesivirtaamia tehokkaasti. Ongelmaksi todettiin kui-tenkin näiden järjestelmien alapuolisissa valuma-alueen osissa muodostuvat hulevedet, jotka aiheuttavat huomattavaa kuormitusta Ruskontien pohjois-

puolella ja Annistossa. Tässä raportissa esitetyillä jatkotoimenpiteillä saadaan havaittujen ongelmakohtien toimintaa kuitenkin parannettua ja koko valuma-alueen tasolla päästään hyviin hallintatuloksiin viiden vuoden toistuvuudella. Toimenpiteiden vaikutuksesta myös tulvariskiä Anniston rummuilla saadaan alennettua.

Mallinnuksen perusteella todetaan Vuoreksen hulevesien hallintajärjestelmien toimivan kokonaisuudessa hyvin. Esitetyillä jatkotoimenpiteillä saavutetaan virtaamien hallinnalle asetetut tavoitteet selvästi paremmin kuin ilman jatkotoimenpiteitä. Virtaamien hallinta saadaan hyvälle tasolle koko selvitysalueella ja rakentamisen aiheuttamaa virtaamien kasvua saadaan rajoitettua merkittävästi. Viiden vuoden toistuvuudella Koipijärveen purkautuvat virtaamat saadaan rajoitettua lähelle rakentamista edeltävän tilan virtaamia. Jatkotoimenpiteillä täydennettynä Vuoreksen hulevesien hallintajärjestelmien todetaan toimivan kohtuullisen hyvin myös ilmastonmuutoksen vaikutuksesta rankentuneessa mitoitustilanteessa, joka vastaa nykyistä kerran kymmenessä vuodessa esiintyvää mitoitustilannetta. Myös EU:n tulvadirektiivin mukaisissa, sadan vuoden toistuvuudella esiintyvissä poikkeustilanteissa järjestelmän todettiin toimivan varsin hyvin ja rajoittavan suurien hulevesimäärien ja virtaamien aiheuttamia ongelmia. Vuosittain esiintyvillä sadetapahtumilla hulevesien hallintajärjestelmissä ei esiintynyt ongelmia.

Suunnitelluilla hulevesien hallintajärjestelmillä on vaikutusta myös hulevesien laatuun. Kattavat korttelikohtaiset hulevesien viivytysjärjestelmät yhdessä alueellisten biopidätysalueiden ja hulevesialtaiden kanssa vähentävät merkittävästi hulevesien kuljettamia epäpuhtauksia. Etenkin veden suotautumiseen perustuvat järjestelmät poistavat tehokkaasti epäpuhtauksia, kuten kiintoaineista ja bakteereita. Lisäksi virtaamia rajoittavat järjestelmät vähentävät laskuojien eroosiota, minkä ansiosta Vuoreksen rakentamisesta johtuva Koipijärveen kohdistuva kiintoainekuormitus alenee. On myös huomioitava, että etenkin Virolaisten laskuojan valuma-alue sisältää jo rakentamista edeltävässä tilanteessa peltoja, joilla on ollut vaikutusta laskuojan vedenlaatuun. Vuorekseen suunniteltujen hulevesien hallintajärjestelmien ansiosta Koipijärveen purkautuvien hulevesien laadun todetaan suurella todennäköisyydellä paranevan verrattuna tilanteeseen, jossa suunnitellun laajuisia hallintamenetelmiä ei olisi toteutettu.

## **FCG Finnish Consulting Group Oy**

Laatinut:

Hannes Björninen  
nuorempi suunnittelija, tekn.yo.







